

TUGAS AKHIR - TL 141584

**ANALISIS KEGAGALAN ANTI ROTATION PIECE
SS205 PENGUNCI RING SEGMENT COBALT BASE
SUPERALLOYS DZ40M DALAM KOMPONEN
TURBIN GAS PT.XYZ**

AZMI PUTRA GASADE
NRP. 02511440000114

Dosen Pembimbing

Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.
Lukman Noerochim S.T., M.Sc.Eng. Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2018



TUGAS AKHIR - TL 141584

**ANALISIS KEGAGALAN *ANTI ROTATION PIECE*
SS205 PENGUNCI *RING SEGMENT COBALT*
BASE SUPERALLOYS DZ40M DALAM
KOMPONEN TURBIN GAS PT.XYZ**

AZMI PUTRA GASADE
NRP. 02511440000114

Dosen Pembimbing

Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.
Lukman Noerochim S.T., M.Sc.Eng. Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**FAILURE ANALYSIS OF ANTI ROTATION
PIECE SS205 ON RING SEGMENT COBALT
BASE SUPERALLOYS DZ40M IN GAS
TURBINE COMPONENT PT.XYZ**

**AZMI PUTRA GASADE
NRP. 02511440000114**

Advisors

**Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.
Lukman Noerochim S.T., M.Sc.Eng. Ph.D.**

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2018**

(This page is left intentionally blank)

**ANALISIS KEGAGALAN ANTI ROTATION PIECE SS205
PENGUNCI RING SEGMENT COBALT BASE
SUPERALLOYS DZ40M DALAM KOMPONEN TURBIN
GAS PT.XYZ**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Korosi dan Analisis Kegagalan
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AZMI PUTRA GASADE

02511440000114

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc(Pembimbing 1)
2. Lukman N, S.T., M.Sc(Pembimbing 2)



**ANALISIS KEGAGALAN ANTI ROTATION PIECE SS205
PENGUNCI RING SEGMENT COBALT BASE
SUPERALLOYS DZ40M DALAM KOMPONEN TURBIN
GAS PT.XYZ**

Nama Mahasiswa : Azmi Putra Gasade

NRP : 02511440000114

Jurusan : Departemen Teknik Material

**Pembimbing : Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.
Lukman Noerochim S.T., M.Sc.Eng. Ph.D.**

Abstrak

Turbin pada proses pembangkit listrik ini sangat penting, karena merupakan alat yang mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Salah satu bagian turbin adalah *anti rotation* dimana berperan sebagai penahan *ring segment* agar tidak terlepas dari rel. *Ring segment* sendiri letaknya sangat dekat dengan turbin sehingga ada kemungkinan untuk bergesekan dengan turbin. Kegagalan yang terjadi terdapat di komponen *ring segment*, *seal strips*, dan *anti rotation*. Dalam penelitian ini adalah untuk menganalisis kegagalan yang terjadi pada *anti rotation piece SS205*, *ring segment DZ40M* dan desainnya. Dari hasil pengamatan mikrostruktur, material *anti rotation* termasuk baja tahan karat austenitik. Hasil dari pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dapat dilihat bahwa terdapat retakan pada material *anti rotation* yang merupakan awal mula terjadinya kegagalan. Pada pengujian XRD, material *anti rotation* didapatkan beberapa deposit-deposit antara lain yaitu Fe_2 , FeS , CoNi_2O_4 dan Fe_3O_4 . Pada pengujian XRD ini menggunakan aplikasi HighScore Plus untuk mendapatkan data dari deposit-deposit tersebut.

Kata kunci: *anti rotation*, *SS205*, *keausan*, *turbin gas*, *ASTM A276 grade 205*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**FAILURE ANALYSIS OF ANTI ROTATION PIECE SS205
ON RING SEGMENT COBALT BASE SUPERALLOYS
DZ40M IN GAS TURBINE COMPONENT PT.XYZ**

Name of Student : Azmi Putra Gasade
NRP : 02511440000114
Major : Departement Material Engineering
Advisors : Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.
Lukman Noerochim S.T., M.Sc.Eng. Ph.D.

Abstract

Turbine in electrical generator process is very important because it is a tool that converts the energy of motion into electrical energy. One part of the gas turbine is anti rotation which acts as a ring segment holder so as not to be separated from the rail. Ring segment itself is very close to the turbine so there is a possibility to rub against the turbine. Failures that occur in the ring segment components, seal strips, and anti rotation. In this research is to analyze the failure that happened on anti rotation piece SS205, ring segment DZ40M and its design. From observation of microstructure, anti rotation material including austenitic stainless steel. The result of SEM (Scanning Electron Microscope) observation can be seen that there are cracks in anti rotation material which is the beginning of failure. In XRD testing, anti rotation material obtained some deposits such as Fe₂, FeS, CoNi₂O₄ and Fe₃O₄. In this XRD test using HighScore Plus application to get data from the deposits.

Keywords: anti rotation, SS205, scaling, gas turbine, ASTM A276 grade 205

(This page is left intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Kegagalan Anti Rotation Piece SS205 Pengunci Ring Segment Cobalt Base Superalloys DZ40M dalam Komponen Turbin Gas PT.XYZ**”. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Kedua orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, motivasi, dan inspirasi.
2. Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc. dan Lukman Noerochim S.T., M.Sc.Eng. Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Dr. Agung Purniawan, ST., M,Eng selaku Kepala Departemen Teknik Material FTI – ITS.
4. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI- ITS.
5. Mas Irfan Purbawanto Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen wali yang sangat mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.

6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi.
8. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman- teman sekalian.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 27 Juni 2018
Penulis,

Azmi Putra Gasade
02511440000114

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Turbin Gas.....	5
2.1.1 Komponen-Komponen Utama Turbin Gas	5
2.1.2 Bahan Bakar	6
2.1.3 Sistem Kerja dan Termodinamika Turbin Gas.....	8
2.2 <i>Anti Rotation</i>	10
2.3 Baja	11
2.3.1 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C.....	12
2.3.2 Baja Paduan.....	13
2.3.3 Baja Tahan Karat.....	14
2.3.4 Baja Tahan Karat SS205.....	17
2.4 Analisa Kegagalan	19
2.4.1 Faktor Penyebab Kegagalan	19
2.4.2 Prosedur Dalam Analisa Kegagalan	21
2.5 Deformasi pada Kristal Metalik	22
2.6 Patah Getas dan Patah Ulet	25
2.6.1 Patahan Ulet.....	26
2.7 Sensitisasi.....	29
2.8 Korosi.....	32
2.9 Penelitian Sebelumnya	33

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	35
3.2 Metode Penelitian.....	36
3.3 Bahan Penelitian.....	37
3.4 Peralatan.....	38
3.5 Prosedur Penelitian.....	43
3.5.1 Review Dokumen Perusahaan	43
3.5.2 Pengujian	43

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data.....	47
4.1.1 Data Operasional Lapangan.....	47
4.1.2 Hasil Pengujian Komposisi Kimia <i>Anti Rotation</i>	48
4.1.3 Hasil Pengamatan Makroskopik	49
4.1.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro.....	52
4.1.5 Hasil Pengamatan SEM (Scanning Electron Microscope).....	54
4.1.6 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Anti Rotation</i>	57
4.1.7 Hasil Pengujian EDX Material <i>Anti Rotation</i>	58
4.1.8 Hasil Pengujian XRD Material <i>Anti Rotation</i>	64
4.2 Pembahasan.....	64

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71

DAFTAR PUSTAKA	xvii
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Efek dari berbagai jenis bahan bakar pada temperatur pemasukan	7
Gambar 2.2	Tipikal Efisiensi dari Tenaga Pembangkit	8
Gambar 2.3	Skematik gambar gas turbin siklus terbuka	9
Gambar 2.4	<i>Anti rotation</i>	11
Gambar 2.5	Diagram fasa Fe- Fe ₃ C	13
Gambar 2.6	Deformasi pada struktur kristal (a) <i>original lattice</i> , (b) deformasi elastis tanpa perubahan permanen pada posisi atom, (c) deformasi plastis mengakibatkan perpindahan posisi atom secara permanen	23
Gambar 2.7	Pengaruh dislokasi terhadap struktur <i>lattice</i> akibat tekanan	24
Gambar 2.8	Bentuk Patahan (a) ulet, (b) ulet setelah terjadi necking, (c) getas tanpa terjadi deformasi plastis	26
Gambar 2.9	Tahap Patahan <i>Cup</i> dan <i>Cone</i> (a) Awal <i>Necking</i> , (b) Terbentuknya Cavity Kecil, (c) Pengumpulan Cavity Hingga Menjadi Retakan, (d) Perambatan Retak, (e) Patahan Geser dengan Sudut 45° Terhadap Arah Tegangan	27
Gambar 2.10	Penampakan (a) patah ulet (cup and cone) pada aluminium, dan (b) patah getas pada mild steel	28
Gambar 2.11	Hasil SEM (a) spherical dimple karakteristik, patahan hasil beban tarik uniaxial, 3300×, dan (b) spherical dimple karakteristik hasil beban geser, 5000x	28
Gambar 2.12	Kelarutan karbon pada 18-10 baja tahan karat austenitic	30
Gambar 2.13	Laju presipitasi untuk Cr ₂₃ C ₆ sebagai fungsi kandungan karbon	31
Gambar 2.14	Penurunan kadar kromium pada austenit di sekitar batas butir akibat presipitasi karbida	31

Gambar 2.15 Skema proses terjadinya <i>hot corrosion</i> pada mesin turbin gas	34
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 3.2 (a) Sistem <i>Anti Rotation</i> dan <i>Ring Segment</i> pada Turbin Gas, (b) <i>Anti Rotation</i> tampak atas, (c) <i>Anti Rotation</i> tampak bawah, (d) <i>Anti Rotation</i> tampak depan, (e) <i>Anti Rotation</i> tampak belakang, (f) <i>Anti Rotation</i> tampak samping kanan, (g) <i>Anti Rotation</i> tampak samping kiri	37
Gambar 3.3 Penggaris	38
Gambar 3.4 Mesin <i>Hand Grinding</i>	38
Gambar 3.5 Kamera Digital	39
Gambar 3.6 Mesin OES	39
Gambar 3.7 Universal Hardness Tester	40
Gambar 3.8 <i>Abrasive Paper</i>	40
Gambar 3.9 Mesin Polish	41
Gambar 3.10 Mikroskop Optik	41
Gambar 3.11 Alat Uji SEM	42
Gambar 3.12 Mesin Pengujian XRD	43
Gambar 4.1 Kegagalan pada (a) spesimen <i>anti rotation</i> kode 1, (b) spesimen <i>anti rotation</i> kode 2, (c) spesimen <i>anti rotation</i> kode 3, (d) spesimen <i>anti rotation</i> kode 5, (e) spesimen <i>anti rotation</i> kode 28, (f) spesimen <i>anti rotation</i> kode 29, (g) spesimen <i>anti rotation</i> kode 30, (h) spesimen <i>anti rotation</i> kode 32 dan (g) spesimen <i>anti rotation</i> kode 31	50
Gambar 4.2 Retakan dan <i>Scaling</i> pada material <i>anti rotation</i> kode 31	51
Gambar 4.3 Korosi pada material <i>anti rotation</i> kode 31	51
Gambar 4.4 Spesimen <i>anti rotation</i> kode 5 yang mengalami keagalStruktur mikro <i>anti rotation</i> (a) kode 1 perbesaran 20x, (b) kode 2 perbesaran 20x, (c) kode 3 perbesaran 20x, (d) kode 5 perbesaran 20x, (e) kode 28 perbesaran 20x, (f) kode 29	

	perbesaran 20x, (g) kode 30 perbesaran 20x, (h) kode 31 perbesaran 20x, (i) kode 32 perbesaran 20x	52
Gambar 4.5	Hasil metalografi <i>anti rotation</i> SS205	53
Gambar 4.6	Pengamatan Struktur Mikro Stainless Steel 200 series dengan Metode Pengujian SEM.....	54
Gambar 4.7	Pengamatan morfologi pada <i>anti rotation</i> (a) kode 1 perbesaran 100x (b) kode 2 perbesaran 200x (c) kode 3 perbesaran 200x (d) kode 5 perbesaran 200x (e) kode 28 perbesaran 200x (f) kode 29 perbesaran 200x (g) kode 30 perbesaran 200x (h) kode 31 perbesaran 100x (i) kode 31 perbesaran 200x.	55
Gambar 4.8	Morfologi permukaan <i>anti rotation</i> yang mengalami retakan.	56
Gambar 4.9	Morfologi permukaan <i>anti rotation</i> yang mengalami <i>scaling</i>	56
Gambar 4.10	Nilai kekerasan material <i>anti rotation</i>	58
Gambar 4.11	Grafik hasil pengujian XRD <i>anti rotation</i>	64

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia baja AISI 205	17
Tabel 2.2 Sifat mekanik AISI 205	18
Tabel 2.3 Permasalahan dalam Kegagalan Komponen Mesin ..	19
Tabel 2.4 Kasus Kegagalan Material Akibat Perawatan Komponen Mesin	20
Tabel 2.5 Penyebab Kegagalan dalam Komponen Mesin	21
Tabel 4.1 Data Operasional Turbin Gas	47
Tabel 4.2 Komposisi Bahan Bakar Minyak yang Digunakan ..	47
Tabel 4.3 Komposisi Bahan Bakar Gas yang Digunakan	48
Tabel 4.4 Pencocokan Hasil Uji Material <i>Anti Rotation</i> dengan SS205	49
Tabel 4.5 Hasil pengujian hardness material <i>anti rotation</i>	57
Tabel 4.6 Hasil pengujian EDX <i>anti rotation</i> kode 1	59
Tabel 4.7 Hasil pengujian EDX <i>anti rotation</i> kode 2	59
Tabel 4.8 Hasil pengujian EDX <i>anti rotation</i> kode 3	60
Tabel 4.9 Hasil pengujian EDX <i>anti rotation</i> kode 5	60
Tabel 4.10 Hasil pengujian EDX <i>anti rotation</i> kode 28	61
Tabel 4.11 Hasil pengujian EDX <i>anti rotation</i> kode 29	61
Tabel 4.12 Hasil pengujian EDX <i>anti rotation</i> kode 30	62
Tabel 4.13 Hasil pengujian EDX <i>anti rotation</i> kode 31	63
Tabel 4.14 Hasil pengujian EDX <i>anti rotation</i> kode 32	63
Tabel 4.15 Hasil <i>matching</i> dengan aplikasi HighScore Plus	64

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) merupakan pembangkit energi listrik yang menggunakan turbin gas sebagai penggerak generatornya, turbin gas dirancang dengan cara kerja yang sederhana dimana energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran diubah menjadi energi mekanis dan selanjutnya diubah menjadi energi listrik. Dalam proses pembakaran ini bahan bakar disuplai oleh pompa bahan bakar (fuel oil pump) apabila digunakan bahan bakar minyak, atau oleh kompresor gas apabila menggunakan bahan bakar gas alam. Pada umumnya kompresor gas disediakan oleh pemasok gas tersebut. Udara untuk pembakaran diperoleh dari kompresor utama, sedangkan panas untuk awal pembakaran dihasilkan oleh ignitor (busi). Proses pembakaran dilaksanakan didalam Combustion Chamber (ruang bakar). Udara dengan tekanan atmosfer ditarik masuk kedalam kompresor dan diberi tekanan sebesar 250 Psi dicampur dengan bahan bakar dan dibakar dalam ruang bakar dengan temperature 2000-3000°F. Gas hasil pembakaran yang merupakan energi panas dan tekanan yang tinggi memiliki temperature kira-kira sebesar 900°C. Selanjutnya gas dialirkan ke turbin untuk memutar turbin, generator dikoppel secara langsung dengan turbin, dengan demikian bila turbin berputar maka generator berputar. Kompresor juga seporos dengan turbin. Jadi tekanan gas yang dihasilkan dari ruang bakar selain memutar turbin juga untuk memutar compressor. Energi mekanis yang dihasilkan oleh turbin gas digunakan untuk memutar generator listrik, sehingga diperoleh energi listrik.

Turbin pada proses pembangkit listrik ini sangat penting, karena merupakan alat yang mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Salah satu bagian turbin adalah *anti rotation* dimana berperan sebagai penahan *ring segment* agar tidak terlepas dari rel. *Ring segment* sendiri letaknya sangat dekat dengan turbin sehingga



ada kemungkinan untuk bergesekan dengan turbin, pada 2 September 2017 di PT. XYZ terjadi vibrasi high pada sebuah turbin gas dan setelah dilakukan inspeksi terdapat bagian dari *ring segment* yang terlepas dari rel, dimana *anti rotation* merupakan komponen penahan *ring segment* dalam turbin gas.

Oleh karena itu, analisa ini dilakukan untuk mengetahui kondisi dari material *anti rotation*. Diharapkan dengan mengetahui kondisi material dari *anti rotation* tersebut dapat diketahui penyebab terjadinya kegagalan material pada *anti rotation* penahan *ring segment*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dikaji dalam analisis kegagalan ini adalah menganalisis kegagalan yang terjadi pada *anti rotation* adalah sebagai berikut:

1. Apa saja faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan pada *anti rotation* pada turbin gas?
2. Bagaimana mekanisme kegagalan yang terjadi pada *anti rotation* pada turbin gas?
3. Apa saja hal-hal yang perlu dilakukan agar kegagalan *anti rotation* pada turbin gas dapat ditanggulangi?

1.3 Tujuan Masalah

Sesuai dengan permasalahan yang telah disebutkan, maka tujuan permasalahan adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis faktor-faktor penyebab terjadinya kegagalan *anti rotation* pada turbin gas.
2. Menganalisis mekanisme terjadinya kegagalan *anti rotation* pada turbin gas.
3. Menganalisis penanggulangan yang perlu dilakukan agar kegagalan *anti rotation* dapat diminimalisir.



1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisa permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan, yaitu:

1. Temperatur, tekanan, dan volume udara yang mengalir di dalam turbin gas dianggap konstan.
2. Desain *anti rotation* dianggap memenuhi standar operasional.
3. Material dianggap homogen.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat kepada seluruh pihak yang berkaitan, yaitu mahasiswa sebagai pelaksana penelitian mampu memahami serta mengaplikasikan ilmu yang telah didapat khususnya cabang ilmu material dan metalurgi serta dapat menerapkan hasil penelitian untuk:

1. Menentukan factor-faktor penyebab terjadinya kegagalan *anti rotation* pada turbin gas.
2. Masukan untuk hal-hal yang dapat dilakukan agar kegagalan pada *anti rotation* dapat ditanggulangi.
3. Referensi pemilihan bahan serta *maintenance* pada *anti rotation*.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Gas

Turbin gas adalah turbin dengan gas sebagai fluida kerjanya. Sebenarnya turbin gas hanyalah merupakan salah satu komponen dari suatu sistem turbin gas. Sistem turbin gas yang paling sederhana terdiri dari tiga komponen utama, yaitu: kompresor, ruang bakar dan turbin. Prinsip sistem turbin gas yang terdiri dari kompresor, ruang bakar (pembakaran kontinu pada tekanan konstan) dan turbin (impuls) yang banyak digunakan sekarang ditemukan oleh John Barber [Nuneaton, Inggris] pada tahun 1791. Usaha pengembangan sistem turbin gas diteruskan terutama dengan terlebih dahulu meningkatkan efisiensi kompresor. Penggunaan turbin gas dalam motor populsi dirintis oleh Frank Whittle (Inggris). Ciri utama dari turbin gas adalah kompak, ringan, dan mampu menghasilkan daya tinggi serta bebas getaran. (Arismunandar, 2002)

Turbin gas berfungsi untuk mengkonversi energi panas dan *preassure drop* menjadi energi mekanik. Proses konversi energy berlangsung dalam dua tahap. Pada bagian nosel, gas panas mengalami proses ekspansi. Sedangkan energi panas diubah menjadi energi kinetik. Hampir $\frac{2}{3}$ energi mekanik yang dihasilkan oleh putaran rotor turbin digunakan untuk menggerakkan kompresor, dan $\frac{1}{3}$ digunakan untuk memutar generator dan menghasilkan listrik.

2.1.1 Komponen-Komponen Utama Turbin Gas

a. Kompresor

Kompresor merupakan alat yang digunakan untuk meningkatkan tekanan udara yang akan digunakan pada ruang bakar dalam proses pembakaran. Udara dari atmosfer ditarik terus menerus dan dikompresi hingga memiliki rasio tertentu untuk mencapai tekanan tinggi.



Kompresor terbagi menjadi dua jenis yaitu kompresor sentrifugal dan kompresor aksial. Kompresor sentrifugal digunakan pada jenis unit turbin gas yang kecil. Sedangkan kompresor aksial digunakan pada turbin gas yang mempunyai daya lebih dari 5MW.

b. Ruang Pembakaran

Ruang pembakaran adalah daerah terjadinya proses pembakaran antara oksigen hasil kompresi dan bahan bakar.

c. Turbin

Turbin merupakan alat yang digunakan untuk ekspansi fluida. Turbin berfungsi sebagai penggerak dari generator pembangkit energi listrik.

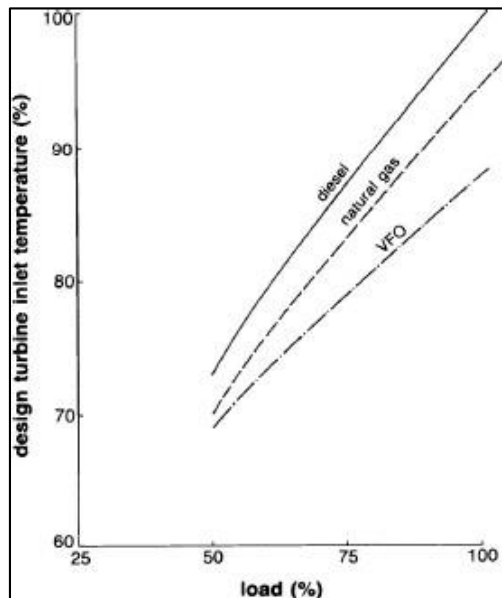
2.1.2 Bahan Bakar

Dua jenis bahan bakar utama yang biasa digunakan pada turbin gas adalah jenis bahan bakar gas dan bahan bakar cair. Sekitar 40% dari turbin pembangkit dioperasikan dengan menggunakan bahan bakar cair. Bahan bakar cair dapat terbagi menjadi dua kelas utama yaitu bahan bakar yang didistilasi atau true distillate fuels dan ash-forming fuels. True distillate fuels merupakan bahan bakar yang telah dimurnikan dan bebas dari komponen pembentuk abu dan dapat langsung digunakan atau dilakukan sedikit pembersihan terlebih dahulu. Secara umum bahan bakar jenis ini mengandung kontaminasi dari natrium dan potasium hingga 1ppm serta sulfur hingga 1 persen berat. Sedangkan, ash-forming fuels membutuhkan pemansan, pembersihan maupun penambahan aditif dan dilakukan pembersihan berkala pada turbin. Selain tingginya jumlah natrium dan potasium hingga 100ppm, sulfur hingga 4 persen berat, dan vanadium hingga 100ppm bahan bakar jenis ash-forming fuels perlu dilakukan pemisahan dari kontaminasi logam alkali.



Spesifikasi bahan bakar yang diperlukan dan penting untuk diperhatikan dengan disain dari system pembakaran adalah sebagai berikut:

1. Panas yang dihasilkan
2. Kebersihan (keberadaan residu pembakaran, tingkat kontaminasi)
3. Tingkat korosi
4. Deposisi dan kecenderungan membentuk endapan
5. Ketersediaan

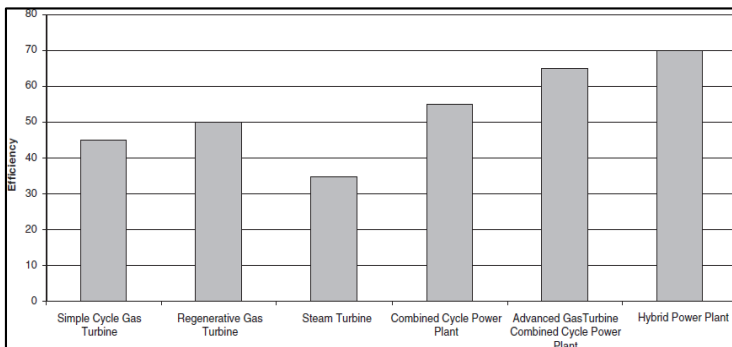


Gambar 2.1 Efek dari berbagai jenis bahan bakar pada temperatur pemasukan (Boyce, 2012)

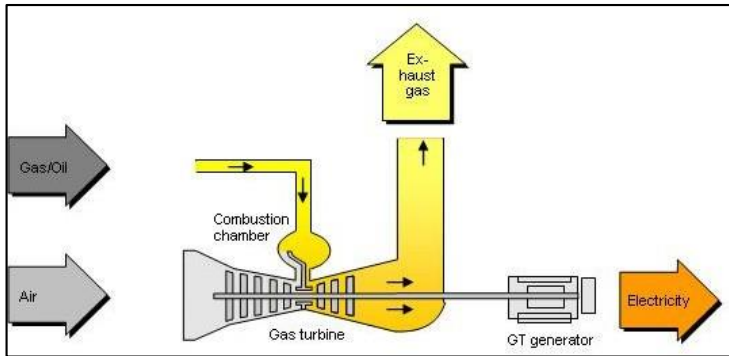


2.1.3 Sistem Kerja dan Termodinamika Turbin Gas

Turbin gas menggunakan prinsip siklus Brayton, sesuai dengan nama penemunya, George Brayton sekitar tahun 1870. Aplikasi utama dari siklus ini adalah untuk pembangkit listrik dan propulsi jet. Siklus termodinamika turbin gas ini dapat berupa siklus terbuka dan siklus tertutup. Siklus terbuka ini lazim digunakan pada sistem pengoperasian turbin gas. Siklus ini biasa dikenal sebagai *simple cycle gas turbine* (SCGT). Turbin gas siklus terbuka mampu memproduksi energi 100 hingga 300MW dengan efisiensi panas 35 sampai 40%. Turbin gas yang paling efektif mempunyai efisiensi panas yang bernilai 46%. Nilai efisiensi dari sistem termodinamika turbin gas ini telah dan akan terus berkembang pada kemampuan dan efisiensi gas turbin seiring berkembangnya material-material baru.



Gambar 2.2 Tipikal Efisiensi dari Tenaga Pembangkit (Boyce, 2012)



Gambar 2.3 Skematik gambar gas turbin siklus terbuka (Boyce, 2012)

Prosesnya diawali dengan udara masuk kedalam kompresor melalui saluran masuk udara (inlet). Kompresor berfungsi untuk menghisap dan menaikkan tekanan udara tersebut, sehingga temperatur udara juga meningkat. Kemudian udara bertekanan ini masuk kedalam ruang bakar. Di dalam ruang bakar dilakukan proses pembakaran dengan cara mencampurkan udara bertekanan dan bahan bakar. Proses pembakaran tersebut berlangsung dalam keadaan tekanan konstan sehingga dapat dikatakan ruang bakar hanya untuk menaikkan temperatur. Gas hasil pembakaran tersebut dialirkan ke turbin gas melalui suatu nozel yang berfungsi untuk mengarahkan aliran tersebut ke sudu-sudu turbin. Daya yang dihasilkan oleh turbin gas tersebut digunakan untuk memutar kompresornya sendiri dan memutar beban lainnya seperti generator listrik, dll. Setelah melewati turbin ini gas tersebut akan dibuang keluar melalui saluran buang (exhaust).

Secara umum proses yang terjadi pada suatu siklus sistem turbin gas adalah sebagai berikut:

1. Pemampatan (compression) udara di hisap dan dimampatkan



2. Pembakaran (combustion) bahan bakar dicampurkan ke dalam ruang bakar dengan udara kemudian di bakar.
3. Pemuaian (expansion) gas hasil pembakaran memuai dan mengalir ke luar melalui nozel (nozzle).
4. Pembuangan gas (exhaust) gas hasil pembakaran dikeluarkan lewat saluran pembuangan.

Pada kenyataannya, tidak ada proses yang selalu ideal, tetap terjadi kerugian- kerugian yang dapat menyebabkan turunnya daya yang dihasilkan oleh turbin gas dan berakibat pada menurunnya performa turbin gas itu sendiri. Kerugian-kerugian tersebut dapat terjadi pada ketiga komponen sistem turbin gas. Sebab-sebab terjadinya kerugian antara lain:

1. Adanya gesekan fluida yang menyebabkan terjadinya kerugian tekanan (pressure losses) di ruang bakar.
2. Adanya kerja yang berlebih waktu proses kompresi yang menyebabkan terjadinya gesekan antara bantalan turbin dengan angin.
3. Berubahnya nilai C_p dari fluida kerja akibat terjadinya perubahan temperatur dan perubahan komposisi kimia dari fluida kerja.
4. Adanya mechanical loss, dsb.

2.2 Anti Rotation

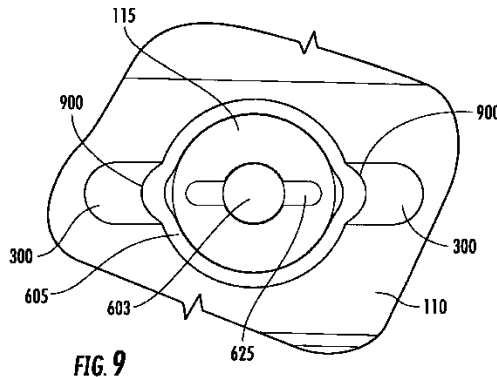
Anti rotation digunakan sebagai alat pengaman dan pengunci dari *ring segment* agar tidak berotasi saat baling-baling turbin gas bekerja. Karena apabila terjadi perpindahan tempat dari *ring segment* sedikit saja dapat berakibat fatal dalam pengoperasian turbin gas. Dari kegagalan tersebut dapat menyebabkan rusaknya salah satu komponen atau bahkan rusaknya sistem turbin gas.

Selama pengoperasian mesin, komponen silinder dan komponen yang berotasi berputar untuk menyalurkan udara dan bahan bakar melalui mesin. Rotasi seperti itu menimbulkan getaran di dalam mesin turbin. Getaran dapat menyebabkan



komponen mesin keluar dari jalurnya atau menjadi tidak selaras. Selain itu, pergerakan fluida di dalam mesin juga menyebabkan perubahan temperatur di dalam mesin. Perubahan temperatur tersebut dapat mengubah sifat material dari komponen mesin, sehingga kemungkinan komponen-komponen itu menjadi tidak sejajar atau bahkan terlepas dari jalurnya.

Rim-Cavity Seal (Pelindung Rongga Rim) dan *Stationary Vane* (Baling-baling) biasanya dikunci bersamaan menggunakan dua pin dalam satu *anti rotation*. Pin pertama terletak diantara lingkaran pelindung luar dari rim-cavity seal yang berfungsi untuk mencegah baling-baling agar tidak berputar. Pin kedua digunakan untuk melindungi pin pertama agar tidak ikut berotasi selama mesin bekerja. Perakitan kedua pin tersebut untuk mencegah rotasi selama mesin bekerja. (Afanasiev,2011)



Gambar 2.4 *Anti rotation* (Afanasiev,2011)

2.3 Baja

Menurut komposisi kimianya baja dapat di bagi menjadi dua yaitu baja karbon dan baja paduan. Baja karbon bukan berarti baja yang sama sekali tidak mengandung unsur lain, selain besi



dan karbon. Baja karbon mengandung sejumlah unsur lain tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak berpengaruh terhadap sifatnya. Unsur-unsur ini biasanya merupakan ikatan yang berasal dari proses pembuatan besi atau baja seperti mangan, Silicon, dan beberapa unsur pengotor seperti belerang, oksigen, nitrogen, dan lain-lain yang biasanya ditekan sampai kadar yang sangat kecil (Aini, 2016).

2.3.1 Diagram Fasa Fe-Fe₃C

Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa interstisial (interstitial compound), eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grafit). Karena itu diagram fase besi-karbon ada 2 macam, diagram fase besi – karbida besi dan diagram fase besi – grafit.

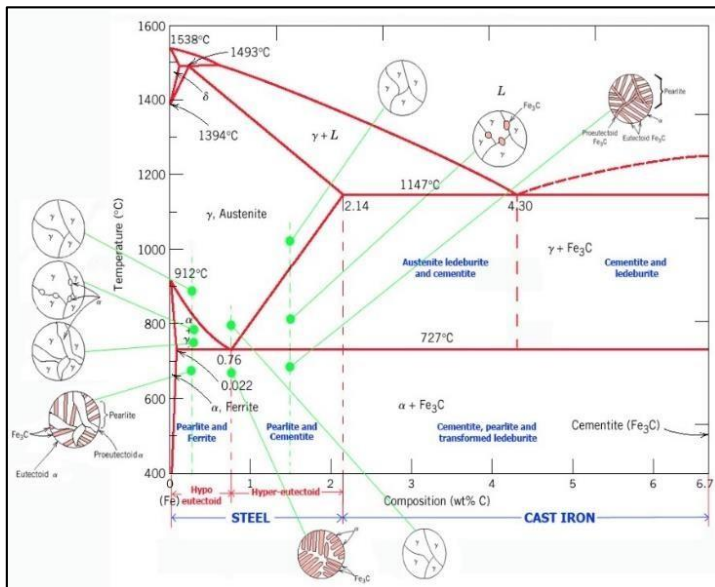
Diagram keseimbangan besi – karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa interstisial-nya, karbida besi Fe₃C, yang mengandung 6,67 %C. dan diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi – karbida besi, diagram Fe – Fe₃C.

Pada keadaan yang betul – betul ekuilibrium karbon akan berupa karbon bebas (grafit), sehingga akan diperoleh diagram kesetimbangan besi - grafit. Perubahan – perubahan dalam keadaan ekuilibrium berlangsung terlalu lama. Seharusnya karbida besi akan terjadi pada temperatur kamar (pada temperatur sekitar 700°C pun perubahan ini akan makan waktu bertahun – tahun). Dalam hal ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil. Diagram fase besi – karbida dapat dilihat pada Gambar 2.5

Dari Gambar 2.5 tampak bahwa diagram fase ini memiliki tiga garis mendatar yang menandakan adanya reaksi yang berlangsung secara *isothermal*, yaitu:



- Pada 1496°C , kadar karbon antara 0.10 – 0.50 %, berlangsung reaksi peritektik. $L + \delta \rightarrow \gamma$ (daerah ini tidak begitu penting untuk dunia teknik)
- Pada 1130°C , kadar karbon antara 2,0 – 6,67 %, berlangsung reaksi eutektik. $L \rightarrow \gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ (Avner, 1974)



Gambar 2.5 Diagram fasa Fe- Fe_3C (Avner, 1974)

2.3.2 Baja Paduan

Baja merupakan paduan yang terdiri dari besi (Fe), karbon (C), dan unsur paduan lainnya. Unsur karbon (C) merupakan salah satu unsur yang terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Baja paduan merupakan baja yang dipadu dengan unsur lain seperti Nikel (Ni), Silikon (Si), Molybdenum (Mo), Mangan (Mn), Krom (Cr)



dengan tujuan untuk meningkatkan sifat dan karakteristik mekanik dari baja tersebut. Oleh karena dipadu, sifat dan karakterisasinya pun tergantung pada unsur paduan dan komposisinya. Misalnya; untuk mendapatkan resistansi yang baik terhadap korosi, baja dapat dipadu dengan unsur Krom (Cr) dan sering disebut dengan baja tahan karat. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam bidang teknik dalam bentuk pelat, lembaran, pipa, batang dan sebagainya, hal tersebut yang mendorong terciptanya teori paduan baru pada baja (Yakub & Nofri, 2013)

2.3.3 Baja Tahan Karat

Baja Tahan karat (*stainless steel*) sebenarnya adalah baja paduan dengan kadar paduan tinggi (*high alloy steel*) sengan sifat istimewa yaitu tahan terhadap korosi dan temperatur tinggi. Sifat tahan korosinya diperoleh dari lapisan oksida (terutama krom) yang sangat stabil yang melekat pada permukaan dan melindungi baja terhadap lingkungan yang korosif. Pada beberapa jenis baja tahan karat juga terjadi lapisan oksida nikel. Efek perlindungan oksida krom ini tidak efektif pada baja paduan dengan kadar chrom rendah, efek ini mulai tampak nyata pada kadar krom tidak kurang dari 10%. (Suherman, 1999)

Berdasarkan strukturnya baja tahan karat dapat dibagi menjadi tiga kelompok, setiap kelompok baja tahan karat cocok digunakan untuk aplikasi yang berbeda. Berikut merupakan 3 kelompok baja tahan karat yang utama yaitu:

a. Baja tahan karat ferritik

Baja tahan karat ferritik adalah baja chrom yang memiliki kadar kromium lebih tinggi (14-27%), dan kadar karbon lebih rendah. Dalam kelompok ini dikenal tipe 405, 430, dan 446. Baja tahan karat ini memiliki sifat-sifat sebagai berikut: tidak dapat dikeraskan dengan laku panas (*non hardenable*), namun dapat menjadi keras dengan cold work (work hardens), magnetik, dapat di cold work mauun hot work. Keuletan dan sifat tahan korosi yang paling tinggi akan dicapai saat kondisi annealed.



Dalam kondisi ini kekuatannya kira-kira 50% lebih tinggi dari baja karbon, terhadap kelompok martensitik, kelompok ferritik lebih unggul dalam sifat tahan korosi dan machinability. Karena mudah dibentuk, banyak digunakan sebagai barang-barang yang dibuat dengan deep-drawing seperti alat industri kimia dan makanan dan benda arsitektural dan beberapa hiasan pada bagian mobil.

b. Baja tahan karat austenitik

Kelompok ini terdiri dari baja chrom-nickel (seri 3xx) dan baja chrom-nickel-mangan (seri 2xx). Jumlah kadar chrom dan nickel tidak kurang dari 23%. Berstruktur austenitik, non magnetik, non hardenable. Mudah dihot-work, tetapi agak sulit dicold-work karena dapat mengalami work-hardening cukup hebat. Dalam keadaan cold work baja ini menjadi sedikit magnetik. Cold working dapat memberikan sifat mekanik yang sangat bervariasi tergantung pada tingkat deformasi yang dialami. Kelompok baja ini mempunyai sifat *shock resistant* yang tinggi, dan juga sulit di machining, kecuali yang mengandung sulfur atau selenium. Sifat tahan korosinya paling baik diantara ketiga jenis baja tahan karat, juga kekuatan pada temperatur tinggi dan sifat tahan terhadap *scalling* sangat baik. Pada pengelasan baja ini sering mengalami prepitasi karbida kromium (terjadinya presipitasi karbida krom menurunkan sifat tahan korosi dan dapat mendorong terjadinya korosi yang sangat berbahaya, yaitu korosi batas butir (Suherman, 1999).

c. Baja tahan karat austenitik

Pada dasarnya baja ini adalah baja chrom dengan 11,5-18% kromium. Baja ini sering digunakan untuk turbin blade dan benda tuangan tahan korosi. Yang termasuk dalam kelompok ini antara lain type 403, 410, 416, 420, 440A, 501, dan 502. Kelompok baja tahan karat ini bersifat magnetik, dapat dikeraskan, dapat di coldwork dengan mudah, terutama yang



memiliki kadar karbon rendah, machinability cukup baik, ketangguhan baik, juga dapat dihot-work dan memperlihatkan sifat tahan korosi terhadap cuaca dan beberapa chemical yang cukup baik. Sifat tahan korosinya akan paling baik bila dalam kondisi dikeraskan, tetapi masih belum sebaik sifat tahan korosi dari kelompok ferritik dan austenitik.

d. Baja tahan karat presipitasi hardening

Baja tahan karat yang mengalami pengerasan presipitasi. Baja ini pada dasarnya adalah baja paduan chrom nickel dengan tambahan beberapa unsur lain. Baja ini keluar dari pabrik biasanya sudah dalam keadaan solution-annealed. Kemudian setelah dibentuk dilakukan aging untuk menaikkan kekerasan dan kekuatannya. Aging dilakukan dengan pemanasan pada temperatur 480-620°C, didinginkan di udara, untuk menimbulkan efek presipitasi. Dengan aging ini martensit akan mengalami tempering. Temperatur aging yang lebih rendah akan memberikan kekerasan dan kekuatan lebih tinggi tetapi keuletan lebih rendah. Baja ini hendaknya tidak digunakan pada kondisi solution-treated karena keuletannya rendah dan ketahanan terhadap stress corrosion cracking jelek.

e. Baja tahan karat duplex

Kelompok duplex memiliki mikrostruktur ferritik dan austenitik, dengan kesetimbangan fasa 50% ferrit dan 50% austenit. Kelompok Duplex merupakan kombinasi banyak sifat baik dari baja tahan karat ferritik dan austenitik. Mikrostruktur duplex berkontribusi untuk memberikan sifat kekuatan tinggi dan ketahanan terhadap *Stress Corrosion Cracking* yang tinggi. Ciri-ciri baja tahan karat duplex adalah kandungan kromium yang tinggi (20,1-25,5%), namun memiliki kandungan nickel yang rendah dibandingkan dengan kelompok austenitik (1,4-7%).



Rendahnya kandungan nikel membuat baja tahan karat duplex memiliki harga yang lebih murah. Molybdenum (0,3-4%) dan nitrogen ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan korosi dan kesetimbangan mikrostruktur. Nitrogen juga meningkatkan kekuatan. Mangan juga ditambahkan pada beberapa tipe sebagai pengganti dari nikel, namun mangan juga meningkatkan kelarutan nitrogen dalam material.

2.3.4 Baja Tahan Karat SS205

Salah satu jenis baja stainless austenitic adalah AISI 205. Baja austenitic ini merupakan baja dengan ketahanan korosi tinggi. Komposisi unsur – unsur paduan yang terkandung dalam AISI 205 akan menentukan sifat mekanik dan ketahanan korosi. Baja AISI 205 mempunyai kekerasan, ketangguhan, dan kekuatan yang tinggi. Kadar kromium berkisar 16,5-18%wt dan mangan 14-15,5%wt yang terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi kimia baja AISI 205 (ASM International,1990)

Unsur	%wt
C	0,12-0,25
Mn	14-15,5
P	0,06
S	0,03
Si	1
Cr	16,5-18
Ni	1-1,75
N	0,32-0,4
Fe	Balanced

Komposisi kandungan unsur dalam baja AISI 205 tersebut diperoleh sifat mekanik material yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.



Tabel 2.2 Sifat mekanik AISI 205 (ASM International,1990)

Poison	Tensile	Yield	Elong	Hard	Mod	Density
0,27- 0,30	790- 830	450- 475	40	200	197	7,80

Keterangan:

Poison : Rasio Poison

Tensile : Tensile Strength (MPa)

Yield : Yield Strength (MPa)

Elong : Elongation %

Hard : Kekerasan (HRB)

Mod : Modulus Elastisitas (GPa)

Density : Berat jenis (g/cm³)

(ASM International,1990)

Stainless steel seri 200 adalah grup austenitic dengan komposisi kisaran: 5–15% berat Mn, 15–20% berat Cr, dan 3–6% berat Ni.3) Dibandingkan dengan seri 304, seri 200 memiliki kandungan Ni yang jauh berkurang, dan ini diimbangi oleh penambahan Mn, dan juga N serta Cu, semua elemen ini menjadi penstabil austenit. Serta jauh lebih murah daripada austenite lainnya, paduan seri 200 (201-, 202- dan 205-) memiliki kekuatan luluh 30-40% lebih tinggi dari baja stainless yang biasa digunakan, dan juga memiliki keuletan yang baik.

Pada umumnya stainless steel seri 200 tidak memiliki tingkat ketahanan korosi, kemampuan las dan kilau yang sama dengan 304. Sehingga aplikasi yang paling baik untuk stainless steel seri 200 relatif di lingkungan dengan tingkat pengaruh sedang hingga rendah. Aplikasi yang termasuk dalam seri ini adalah alat makan, peralatan masak, tangki air, arsitektur interior, otomotif, badan bus dan tangki bahan bakar. Komposisi kimia dari seri 200 umum digunakan pada seri 304. (Mukunthan, 2013)



2.4 Analisis Kegagalan

Analisis kegagalan adalah kegiatan pemeriksaan/pengujian terhadap suatu komponen yang mengalami kerusakan untuk mencari penyebab terjadi permasalahan yang sifatnya spesifik. Didukung dengan berbagai referensi, pengamatan, dan pengujian laboratorium untuk memperkuat dugaan permasalahan. Kegagalan bisa saja berasal dari manufaktur, perakitan ataupun pengoperasian yang tidak sesuai dengan prosedur, dan tujuan analisa kegagalan untuk mengetahui mekanisme kegagalan. Manfaat yang dihasilkan dari analisa kegagalan dalam jangka pendek adalah perbaikan desain dan proses fabrikasi juga pengoperasian. Untuk jangka panjang bisa dijadikan acuan pengembangan material dan evaluasi untuk memperkirakan kerja suatu material dan memperbaiki sistem perawatan dari material tersebut.

Pengamatan pola patahan yang rusak adalah kunci bagi seluruh proses analisa kegagalan, oleh sebab itu pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis harus dilaksanakan secara bertahap. Selain itu pengujian mekanik juga diperlukan karena secara umum kegagalan disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja dari lingkungan kerja komponen.

2.4.1 Faktor Penyebab Kegagalan

Menurut sumber-sumber penelitian yang ada di dunia industri (Brook & Choudury, 2002), faktor penyebab kegagalan yang sering terjadi di dunia industri dapat dikarenakan:

- a. **Faktor Kesalahan Pemilihan Material.** Tabel 2.3 dibawah ini menunjukkan statistik tentang permasalahan dalam masalah kegagalan material.

Tabel 2.3 Permasalahan dalam Kegagalan Komponen Mesin
(Brook & Choudury, 2002).

Permasalahan	%
Kesalahan pemilihan material	38
Cacat produksi	15
Kesalahan perlakuan panas	15



Kesalahan desain mekanik	11
Kondisi operasi yang berlebihan	8
Kondisi lingkungan yang tidak terkontrol	6
Pemeriksaan yang kurang baik	5
Material yang tidak jelas	2

b. Perawatan Komponen yang Kurang Baik

Proses perawatan komponen mesin yang kurang baik termasuk salah satu penyebab kegagalan yang paling dominan. Tabel 2.4 menunjukkan data mengenai kasus kegagalan material yang terjadi.

Tabel 2.4 Kasus Kegagalan Material Akibat Perawatan Komponen Mesin (Brook & Choudury, 2002).

Permasalahan	%
Perawatan yang kurang baik	44
Cacat saat fabrikasi	17
Defisiensi desain	16
Pemakaian yang abnormal	10
Cacat material	7
Penyebab yang tidak jelas	6

c. Kesalahan dalam Perancangan Komponen

Faktor kesalahan dalam proses perancangan komponen mesin adalah sebagai berikut:

- Kegagalan ulet akibat pembebanan yang melebihi kekuatan material
- Kegagalan getas akibat beban kejut
- Kegagalan pada temperatur tinggi (pemuluran)
- *Static dealayed fracture*
- Proses perancangan yang terlalu banyak memicu konsentrasi tegangan seperti takikan



- Analisa tegangan komponen yang kurang detail yang menyebabkan rawan terjadi kegagalan akibat *overload*
- Kesalahan dalam menentukan material dari komponen mesin sehingga mempengaruhi hitungan yang dilakukan

d. Kondisi Kerja yang Ekstim

Permasalahan yang spesifik dalam kegagalan komponen mesin akibat kondisi kerja yang ekstrim disajikan dalam Tabel 2.5 berikut ini:

Tabel 2.5 Penyebab Kegagalan dalam Komponen Mesin (Brook &Choudury, 2002)

Permasalahan	%
Korosi	29
Kelelahan	25
Kegagalan getas	16
Kelebihan beban	11
Korosi temperatur tinggi	7
Korosi SCC	6
Pemuluran	3
Abrasi, erosi	3

2.4.2 Prosedur Dalam Analisa Kegagalan

Ketika terjadi sebuah kegagalan atau retak, perlu dilakukan suatu tindakan untuk mencegah terjadinya kegagalan yang sama dengan menginvestigasi dan menganalisa kegagalan komponen yang terjadi. Adapun tindakan yang perlu dilakukan dalam menginvestigasi komponen yaitu (Nishida, 1992):

1. Material yang digunakan

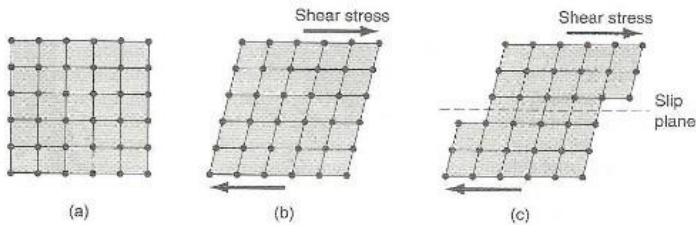
- a. Data produk: *melting, rolling, forming, casting, heat treatment*, dan proses *machining*
- b. Analisa kimia: pengujian X-Ray, komposisi kimia



- c. Sifat mekanik: *tensile, bending, hardness, impact*, dan *fatigue test*
 - d. Struktur metalurgi: struktur makro dan mikro struktur
 - e. Pengerasan permukaan dan tegangan sisa: *finishing*
 - f. Patah permukaan
2. Desain tegangan dan kondisi perawatan
 - a. Kekuatan dari luar: golongan, besar, pengulangan.
 - b. Atmospher : udara, air, air laut, dan sebagainya
 - c. Yang lain : kondisi perbaikan
 3. Uji percobaan
 - a. Uji laboratorium : perhitungan tegangan (kekuatan material, *finite element method* (FEM), kekuatan lelah, kekerasan patahan.
 - b. Konfirmasi uji lapangan : ukuran tegangan, uji produksi.
 4. Hasil uji seluruhnya

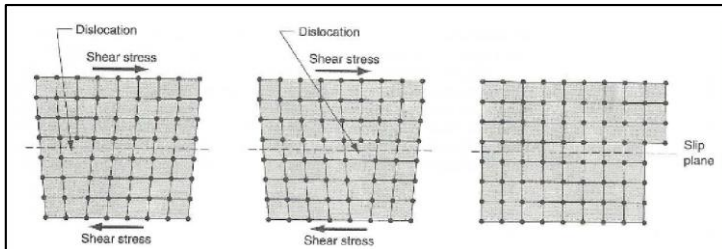
2.5 Deformasi pada Kristal Metalik

Ketika kristal ada dalam tekanan yang makin lama makin besar, respon pertama yang akan terjadi adalah deformasi elastik. Lihat ilustrasinya pada gambar 2.6 (a) dan (b). Kristal akan miring, lalu kembali ke bentuk asal ketika tekanan diiadakan kembali. Jika tekanannya diperbesar sehingga melewati batas tertentu, maka akan terjadi deformasi plastis. Disini, ada sejumlah atom yang berpindah lokasinya. Lihat gambar 2.6 (c). Deformasi yang digambarkan disini disebut slip, yaitu pergerakan relatif dua kelompok atom yang berada di dua sisi berbeda dari satu bidang. Bidang ini disebut bidang slip (slip plane).



Gambar 2.6 Deformasi pada struktur kristal (a) *original lattice*, (b) deformasi elastis tanpa perubahan permanen pada posisi atom, (c) deformasi plastis mengakibatkan perpindahan posisi atom secara permanen

Deformasi plastis relatif lebih sulit terjadi pada logam yang mempunyai struktur kristal HCP ketimbang pada yang berstruktur BCC dan FCC. Ini ada hubungannya dengan rendahnya *ductility* pada logam berstruktur HCP, khususnya pada temperatur kamar. Bahan logam yang mempunyai banyak dislokasi ujung, relatif lebih mudah mengalami deformasi. Yang terjadi disini adalah memindahkan posisi cacat dislokasi ujung (lihat gambar 2.7), dimana energi yang diperlukan lebih rendah. Dengan demikian, di satu pihak, cacat dislokasi ujung merupakan hal yang baik, karena membuat bahan logam menjadi lebih ductile, sehingga memudahkan pekerjaan deformasi yang terjadi pada proses manufaktur. Tapi di pihak lain, logam yang mempunyai banyak cacat artinya tidak sekuat logam yang tanpa cacat, dan ini merupakan hal yang buruk dari aspek perancangan produk.



Gambar 2.7 Pengaruh dislokasi terhadap struktur *lattice* akibat tekanan. (Callister, 2007)

Di samping deformasi berdasarkan slip plane, ada juga bentuk deformasi yang lain, yaitu twinning. Hasil dari deformasi ini adalah bahwa atom-atom di satu sisi dari bidang twinning (twinning plane), menjadi bayangan cermin dari atom-atom di sisi yang lain. Deformasi ini penting pada struktur kristal HCP (seperti Mg dan Zn) karena disini deformasi slip sulit terjadi.

Satu blok logam bisa dibangun dari jutaan individu kristal, yang disebut butir (grain). Setiap butir mempunyai orientasi latas uniknya sendiri. Secara kolektif, arah latas dari butir-butir tersebut bersifat random. Struktur seperti ini disebut polikristalin. Ini terjadi karena ketika logam cair menjadi dingin dan mulai menjadi padat, pembentukan inti dari setiap individu kristal terjadi pada posisi dan orientasi yang random, di seluruh cairan tersebut.

Ketika inti-inti kristal ini tumbuh, sehingga kristal-kristal ini bertemu satu sama lain, akan terbentuk batas-butir (grain boundary). Batas ini tebalnya hanya beberapa atom, dan arah orientasinya tidak sama dengan orientasi butir-butir yang dibatasinya. Ukuran butir dalam satu blok logam ditentukan antara lain oleh jumlah inti yang terjadi dan kecepatan pendinginan dari logam cair tersebut. Dalam proses pembuatan logam cor, inti butir sering terjadi karena dinding cetakan yang relatif dingin. Ini juga mempengaruhi arah orientasi butir.

Ukuran butir dipengaruhi secara terbalik oleh laju pendinginan: pendinginan yang cepat akan membuat butir



menjadi lebih kecil, sedangkan pendinginan lambat akan berpengaruh sebaliknya. Ukuran butir merupakan hal yang penting dalam logam karena berpengaruh pada sifat mekanikal. Logam yang mempunyai butir-butir yang kecil mempunyai kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi.

Faktor lain yang berpengaruh dalam sifat-sifat mekanikal adalah adanya batas butir pada logam. Batas butir ini perwujudan dari cacat pada struktur kristal, yang menahan Bergeraknya dislokasi. Ini menjelaskan mengapa kecilnya ukuran butir (yang berarti lebih banyak butir dan lebih banyak batas butir), meningkatkan kekuatan logam.

Dengan menahan pergerakan dislokasi, maka batas butir juga memberi kontribusi pada sifat mekanikal dari satu logam, sehingga logam menjadi bertambah kuat setelah mengalami deformasi. Sifat ini disebut strain-hardening, yang akan dijelaskan lebih detil di bagian lain (Surdia, 1992).

2.6 Patah Getas dan Patah Ulet

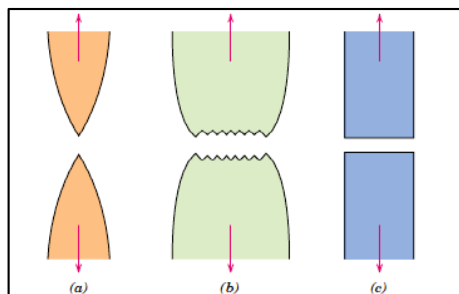
Patahan adalah spesimen dari sebuah benda menjadi 2 atau lebih potongan karena terjadinya tegangan statik dan pada temperature yang relatif rendah terhadap titik leleh dari suatu material. Tegangan yang terjadi pada material bisa merupakan tegangan tarik, tegangan kompresi, tegangan geser ataupun torsi. Dalam rekayasa material terdapat dua jenis mode patahan yang mungkin terjadi yaitu patahan ulet dan patah getas. Klasifikasi jenis patahan ini berdasarkan kemampuan sebuah material dalam menerima deformasi plastis yang dapat menyerap energi yang besar sebelum terjadi patahan. Material yang ulet mempunyai deformasi plastis yang tinggi, pembentukan small cavity diujung retak, serta retak memanjang atau menjalar bertahap. Sedangkan pada material yang getas mempunyai deformasi plastis rendah, tegangan lokal meningkat pada ujung retak sehingga retak menjalar dengan sangat cepat. Patahan ulet dan getas pada suatu material tergantung pada kondisi pembebanan. Pada proses terjadinya patahan melibatkan dua tahap yaitu terbentuknya retak



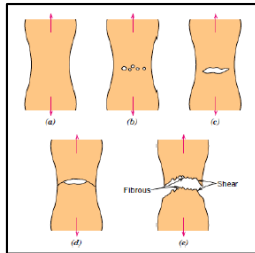
dan perambatan sebagai respon dari tegangan yang dialami oleh material. Modus patahan sangat bergantung pada perambatan retak.

2.6.1 Patahan Ulet

Bentuk patahan ulet memiliki karakteristik yang berbeda jika diamati secara makroskopis. Pada gambar 2.8 ditunjukkan skematik representative dari dua karakteristik profil patahan secara makro. Konfigurasi yang ditunjukkan oleh Gambar 2.8 (a) ditemukan pada material lunak seperti emas pada temperature ruang dan metal, polimer dan inorganik gelas pada temperature yang relatif tinggi. Secara umum profil patahan material ulet akibat tegangan tarik ditunjukkan pada Gambar 2.8 (b) dimana patahan didahului oleh adanya necking. Proses patahan ulet dari material terjadi dalam beberapa tahap. Pertama, setelah terjadi pengecilan luasan setempat (necking) cavities kecil atau microvoid terbentuk di dalam struktur material seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.9.



Gambar 2.8 Bentuk Patahan (a) ulet, (b) ulet setelah terjadi necking, (c) getas tanpa terjadi deformasi plastis (Callister, 2007)



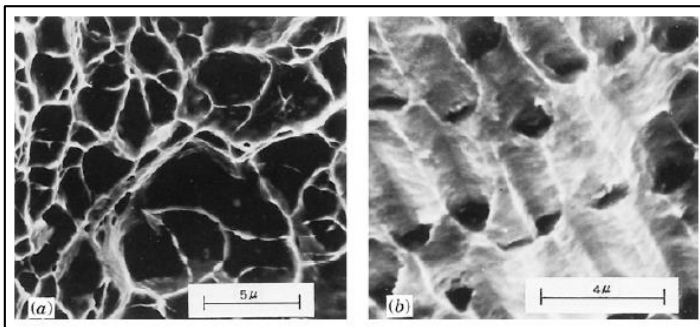
Gambar 2.9 Tahap Patahan *Cup* dan *Cone* (a) Awal *Necking*, (b) Terbentuknya *Cavity* Kecil, (c) Pengumpulan *Cavity* Hingga Menjadi Retakan, (d) Perambatan Retak, (e) Patahan Geser dengan Sudut 45° Terhadap Arah Tegangan (Callister, 2007)

Kemudian dengan bertambahnya deformasi akibat tegangan maka microvoid membesar dan berkumpul menjadi satu yang kemudian coalesce membentuk retak secara elips yang memiliki panjang tegak lurus dari arah pembebanan. Retak kemudian tumbuh sejajar dengan arah pembebanan, akhirnya patahan terbentuk oleh perambatan retak yang cepat disekitar area necking seperti gambar 2.9 (e) oleh deformasi geser pada sudut disekitar arah tegangan tarik dimana sudut ini merupakan tegangan geser tertinggi. Terkadang sebuah patahan mempunyai karakteristik kontur seperti cup dan cone karena salah satu permukaan patahan menyerupai cone. Spesimen yang mempunyai bentuk patahan seperti ini berbentuk fibrous yang tidak teratur dimana hal ini menandakan deformasi plastis. Lebih jauh lagi untuk mengetahui informasi mengenai penentuan secara pengujian dengan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM). Studi mengenai tipe patahan disebut fractographic. Scanning Electron Microscope (SEM) lebih banyak digunakan dalam mengamati bentuk crack, patahan karena mempunyai resolusi dan kedalaman observasi yang lebih tinggi dari mikroskopik optik. Gambar 2.11 menunjukkan patah ulet cup dan cone dan perbedaan patah getas pada mild steel.



Gambar 2.10 Penampakan (a) patah ulet (cup and cone) pada aluminium, dan (b) patah getas pada mild steel (Callister, 2007)

Pada skala makro, patah ulet ditunjukkan dengan adanya perubahan ketinggian yang nyata sepanjang penampang potongan melintang dari benda, biasa dikenal dengan istilah shear lips. Kemudian pada skala mikro, patah ulet ditandai dengan adanya profil dimple pada permukaan patahnya yang disebabkan oleh penjaralan retakan mikro (microvoids coalescence) pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 Hasil SEM (a) spherical dimple karakteristik, patahan hasil beban tarik uniaxial, 3300 \times , dan (b) spherical dimple karakteristik hasil beban geser, 5000 \times (Callister, 2007)



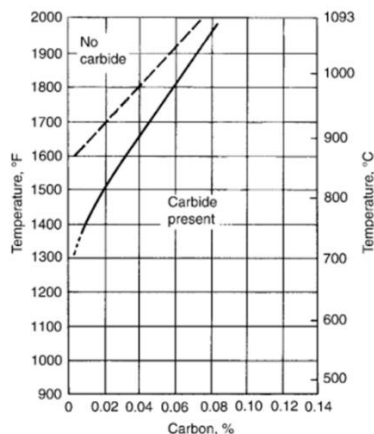
2.7 Sensitisasi

Sensitisasi adalah proses berlangsungnya presipitasi unsur karbon dan membentuk senyawa karbon karbida di batas butir baja tahan karat austenitik selama dioperasikan pada temperatur tinggi yaitu pada rentang 450°C hingga 850°C. Pemanasan pada temperatur sensitisasi menyebabkan atom-atom C posisi intertisi yang awalnya di dalam butiran bebas berdifusi dan cenderung menuju ke batas butir. Namun, atom-atom Cr berbeda, pada posisi substitusi, atom-atom Cr tidak bergitu bebas berdifusi selama baja dioperasikan pada temperatur tinggi. Atom-atom C yang berada di batas butir membentuk senyawa krom karbida (mayoritas senyawa Cr_{23}C_6). Berdasarkan ikatan kimia senyawa krom karbida ini, satu atom C mengikat hampir empat atom Cr, dan atom-atom C di batas butir mengikat atom-atom Cr disekitarnya. Akibatnya, di daerah sekitar batas butir, kandungan Cr menjadi berkurang. Kandungan Cr di antar butir turun hingga sampai kurang lebih 2%. (Saefudin, 2008).

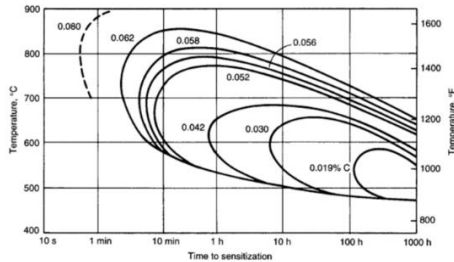
Kelarutan karbon di austenit sekitar 0,006% pada temperatur kamar. Namun, baja tahan karat austenitik umumnya mengandung sekitar 0,05% karbon. Karena kromium memiliki afinitas tinggi untuk karbon, sehingga selalu ada kecenderungan yang kuat pembentukan karbida krom. Selama pendinginan normal yang dihadapi selama fabrikasi baja tahan karat (misal Pengelasan, *hot work* dll.), Karbida kromium dapat diendapkan, membuat baja rentan terhadap IGC (*Intergranular Corrosion*) dan IGSCC (*Intergranular Stress Corrosion Cracking*). Untuk alasan ini, baja tahan karat austenitik umumnya dikenai perlakuan larutan antara 1050 °C-1150°C yang membuat karbida serta beberapa fase intermetalik lainnya kembali pada kondisi larutan. Kondisi ini dipertahankan dengan pendinginan dari temperatur anil (1000 °C-1100 °C) hingga temperatur kamar memaksa unsur-unsur pembentukan karbida dan fasa antar logam untuk tetap berada dalam larutan padat dengan pendinginan cepat. (Parvathavarthini, 2002).



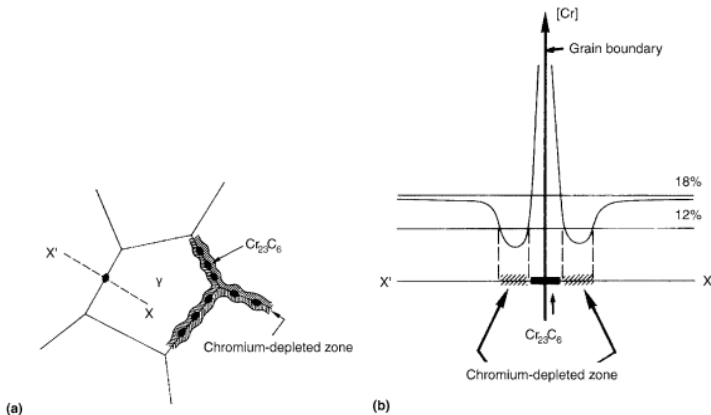
Diagram ekuilibrium untuk karbon dalam paduan 10%Ni 18%Cr ditunjukkan pada Gambar 2.13 Pada temperatur kamar, sangat sedikit karbon larut dalam austenit; Bahkan 0,03% pada grade L kebanyakan berada pada larutan jenuh. Tidak adanya karbida dalam baja tahan karat austenitik disebabkan oleh difusi karbon yang lambat dan difusi kromium yang lebih lambat di austenit. Pada tingkat karbon 0,06%, yang ditemukan pada kebanyakan 304, supersaturasi dicapai di bawah 850°C. Di bawah temperatur ini, supersaturasi meningkat secara eksponensial, sementara difusi menurun secara eksponensial. Hal ini menghasilkan tingkat presipitasi yang bervariasi dengan temperatur dan tingkat karbon seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12 Pada temperatur ini, difusi batas butir jauh lebih cepat daripada difusi butir, dan batas butir memberikan lokasi nukleasi yang sangat baik, sehingga terjadi presipitasi sepanjang batas butir. Karena karbon berdifusi lebih cepat daripada kromium, karbon berdifusi dan bergabung dengan kromium secara in situ, menghabiskan batas butir kromium dalam larutan. (McGuire, 2008)



Gambar 2.12 Kelarutan karbon pada 18-10 baja tahan karat austenitic (McGuire, 2008)



Gambar 2.13 Laju presipitasi untuk Cr_{23}C_6 sebagai fungsi kandungan karbon (McGuire, 2008)



Gambar 2.14 Penurunan kadar kromium pada austenit di sekitar batas butir akibat presipitasi karbida (McGuire, 2008)

Gambar 2.13 menunjukkan bahwa penurunan kadar kromium lokal pada daerah batas butir bisa menjadi cukup rendah sehingga daerah sekitar batas butir tidak cukup kromium untuk menjadikan baja sebagai *stainless* dan tentunya ketahanan korosi jauh lebih rendah daripada daerah sekitarnya. Daerah ini, karena memiliki kadar kromium yang rendah memiliki austenit yang tidak stabil sehingga cukup rentan terhadap pembentukan martensit. (McGuire, 2008)



2.8 Korosi

Korosi merupakan proses degradasi sifat material disebabkan reaksi dengan lingkungannya. Korosi sebagai suatu reaksi elektrokimia yang memberikan kontribusi kerusakan fisik suatu material secara signifikan sehingga perlu perhatian untuk mencegah dan meminimalisasi kerugian yang timbul akibat efek korosi (Fontana & Greene, 1978). Jumlah logam dan paduannya merupakan fungsi dari lingkungan sehingga saling mempengaruhi kedua parameter tersebut antara lain lingkungan air tawar, air laut, tanah, air laut (Callister & Rethwisch, 2014)

Pendekatan korosi secara umum melibatkan sifat material antara lain sifat fisik, mekanik dan kimia. Pendekatan lainnya juga mempertimbangkan struktur logam, sifat lingkungan sekitar dan reaksi antara permukaan logam dan lingkungan. Faktor-faktor pendekatan korosi yaitu :

- Logam. Komposisi, struktur atom, keheterogenan struktur secara mikroskopik dan makroskopik, tegangan (tarik, tekan dan siklus)
- Lingkungan. Sifat kimia, konsentrasi bahan reaktif dan pengotor, tekanan, temperatur, kecepatan dan lain-lain
- Antar muka logam/lingkungan. Kinetika oksidasi dan pelarutan logam, kinetika proses reduksi bahan di dalam larutan, lokasi produk korosi dan pertumbuhan film dan pelarutan film.

Mekanisme korosi tidak terlepas dari reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia melibatkan perpindahan elektron-elektron. Perpindahan elektron merupakan hasil reaksi redoks (reduksi-oksidasi). (Gadang, 2008)

2.9 Penelitian Sebelumnya

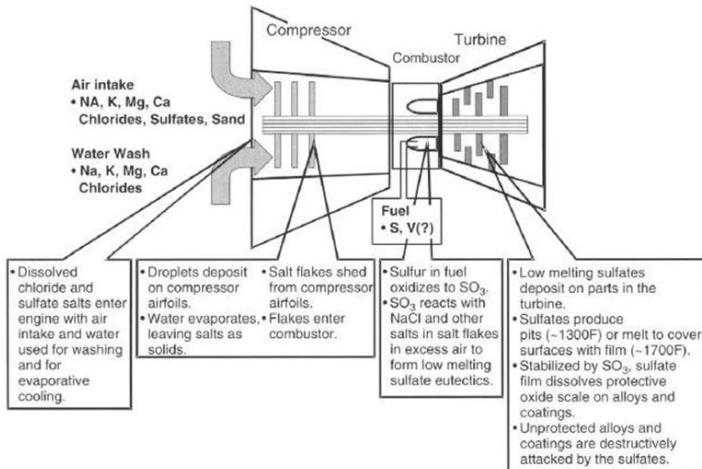


Analisa kegagalan prematur pada material *mixing chamber* turbin gas dilakukan dengan studi korosi temperatur tinggi. Pendekatan dilakukan berdasarkan unsur – unsur yang dapat menyebabkan inisiasi pada korosi temperatur tinggi. Evaluasi dilakukan dengan meninjau bahan bakar, material dasar dan material pelindung, serta proses dan operasional dari turbin gas.

Turbin Gas Unit 4.2 di PLTG Muara Tawar yang digunakan sebagai pembangkit listrik dengan daya 143MW mengalami kerusakan pada ruang pembakaran dan daerah aliran panas '*Hot Gas Path*'. Ruang aliran gas panas '*Mixing chamber*' ini terbuat dari material 16Mo3/17Mn4 sesuai standar DIN 17155 dan/atau ASTM A204 Gr.B.

Bahan bakar solar yang digunakan pada mesin turbin gas terdapat senyawa sulfur, alkali dan vanadium yang merupakan sebagai unsur bersifat korosif. Unsur – unsur ini akan bereaksi setelah pembakaran terjadi pada *combustion chamber* yang akan menghasilkan udara panas untuk menggerakkan turbin. Material dasar yang berupa *alloy steel molybdenum* hanya mampu digunakan hingga temperatur 500 - 550°C namun jika diberi perlindungan TBC mampu hingga 600 - 650°C. Mekanisme kegagalan diawali oleh terbentuknya senyawa vanadium oksida yang mampu mengikat titanium oksida pada TBC. Karakter pada TBC yang mengandung porositas 10 – 15% dapat menyebabkan senyawa vanadium oksida penetrasi dan merusak kestabilan. Kemudian korosi sumuran pada *mixing chamber* disebabkan oleh adanya sulfur oksida berupa SO_3 .

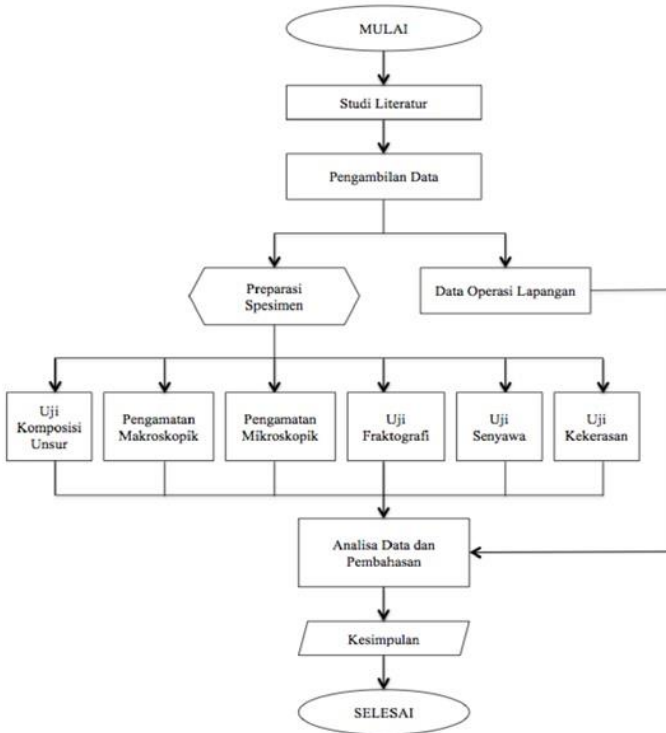
Operasional dari turbin gas atau *start - stop* dapat memberikan pengaruh *thermal shock* pada lapisan pelindung. Lapisan pelindung yang telah rusak kestabilannya akan mengalami *spalling* akibat jumlah *start - stop*. Untuk menjaga proses korosi temperatur tinggi pada turbin gas, maka bisa dilakukan proses seleksi material dan mereduksi pengotor pada bahan bahan bakar yang digunakan. (Candraditya,2009)



Gambar 2.15 Skema proses terjadinya *hot corrosion* pada mesin turbin gas (Candraditya, 2009)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian kali ini antara lain studi lapangan, pengujian dan studi literatur. Adapun hal-hal yang mencakup penelitian antara lain:

1. Studi Lapangan

Metode ini mengacu pada pencarian informasi tentang komponen yang akan diteliti beserta informasi tentang kegagalan yang terjadi pada komponen Turbin Gas di PT. XYZ, dan berdiskusi dengan dosen mata kuliah dan dosen pembimbing.

2. Studi Literatur

Metode studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal- jurnal penelitian, dan situs industri yang mempelajari tentang permasalahan analisis kegagalan khususnya kegagalan pada *anti rotation* komponen turbin gas.

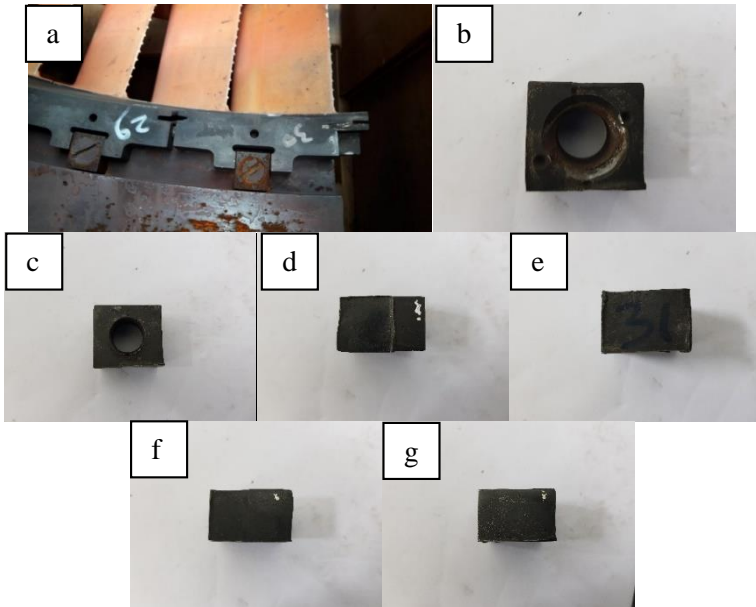
3. Pengujian

Metode ini dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu: pengamatan material *anti rotation* dan *ring segment* yang mengalami kegagalan dengan mikroskop stereo, pengamatan mikro dengan mikroskop optik, uji komposisi dengan menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*), uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan material *anti rotation* pada turbin gas serta uji keausan.



3.3 Bahan Penelitian

Pada bulan Desember 2017 ditemukan material *anti rotation* dan *ring segment* pada turbin gas yang diperlihatkan pada Gambar 3.2 (a) dan pada Gambar 3.2 (b) merupakan material dalam kondisi belum dipasang.



Gambar 3.2 (a) Sistem *Anti Rotation* dan *Ring Segment* pada Turbin Gas, (b) *Anti Rotation* tampak atas, (c) *Anti Rotation* tampak bawah, (d) *Anti Rotation* tampak depan, (e) *Anti Rotation* tampak belakang, (f) *Anti Rotation* tampak samping kanan, (g) *Anti Rotation* tampak samping kiri



3.4 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Penggaris

Digunakan untuk mengukur spesimen uji.



Gambar 3.3 Penggaris

2. *Hand Grinding*

Digunakan untuk memotong spesimen uji.



Gambar 3.4 Mesin *Hand Grinding*

3. Kamera Digital

Digunakan untuk mendapatkan informasi kegagalan secara makro dan dokumentasi selama penelitian. Kamera yang digunakan adalah merk Canon dengan tipe kamera mirrorless seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.5 Kamera Digital

4. Mesin OES

Mesin OES (Optical Emission Spectroscopy) menggunakan alat Foundry-Master PRO untuk mengetahui komposisi kimia penyusun dari material *ring segment* dan *anti rotation*.



Gambar 3.6 Mesin OES

5. Mesin Uji Kekerasan

Digunakan Universal Hardness Tester HBRV 187.5A untuk mengetahui nilai kekerasan dari material uji.



Gambar 3.7 Universal Hardness Tester

6. *Abrasive Paper SiC*

Digunakan amplas merk ToHo untuk menghaluskan permukaan material saat preparasi pengujian struktur mikro dengan grade 60 hingga 2000.



Gambar 3.8 Abrasive Paper

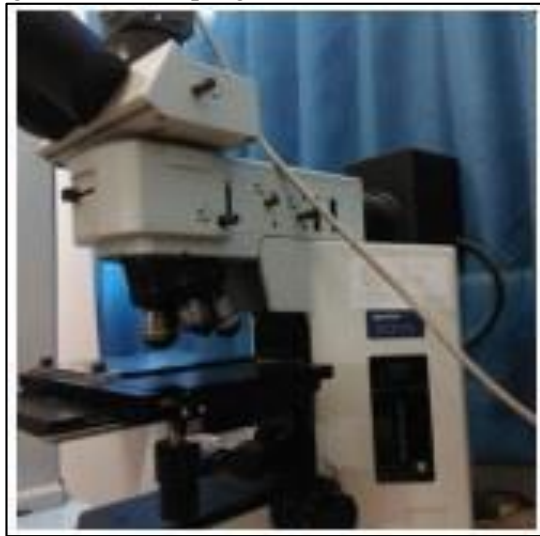
7. Mesin Polish

Digunakan untuk preparasi pengujian mikroskop optik.



Gambar 3.9 Mesin polish

8. Mikroskop Optik
Digunakan untuk pengamatan struktur mikro.



Gambar 3.10 Mikroskop Optik

9. Mesin *Scanning Electron Microscope* (SEM)
Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui informasi



yang terdapat pada permukaan patahan suatu material. Pengujian ini dilakukan di Departemen Teknik Material dengan alat yang ditunjukkan pada gambar dibawah.



Gambar 3.11 Alat Uji SEM

10. Mesin *X-Ray Diffractometer* (XRD)

Menggunakan alat *Pan Analytical* XRD untuk mendapatkan informasi terkait senyawa yang terbentuk setelah proses perlakuan panas yang diberikan pada spesimen uji. Mesin *X-Ray Diffractometer* ditunjukkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Mesin pengujian XRD

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Review Dokumen Perusahaan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data-data perusahaan yang berkaitan dengan *Anti Rotation* dan *Ring Segment* sebagai pendukung hasil penelitian, berikut data yang harus diambil, yaitu:

1. Desain *Anti Rotation* dan *Ring Segment*
2. Data operasi
3. Spesifikasi material
4. Maintenance record

3.5.2 Pengujian

Pemotongan benda uji dilakukan untuk mendapatkan bagian material dengan ukuran yang lebih kecil sesuai dengan kebutuhan masing-masing pengujian pada proses penelitian.



Proses pemotongan ini dilakukan dengan menggunakan mesin potong.

a. Pengujian Spektrometri

Pengujian spektrometri bertujuan untuk mengetahui persentase komposisi kimia yang terkandung dalam benda uji. *Optical Emission Spectrometer* adalah salah satu teknik spektroskopi yang meneliti panjang gelombang foton yang dipancarkan oleh atom atau molekul selama transisi dari keadaan tereksitasi ke keadaan energi yang lebih rendah. Setiap elemen memancarkan karakteristik panjang gelombangnya tersendiri sesuai dengan struktur elektronnya. Dengan mengamati panjang gelombang tersebut, komposisi unsur dari sebuah material dapat ditentukan. Adapun prosedur pengujian spektrometri adalah:

1. Tahap preparasi benda uji
 - Meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan gerinda perata jika permukaan belum rata.
2. Tahap pengujian
 - Memasang benda uji pada ruang penembakan
3. Tahap pengambilan data.

b. Pengujian Makro Visual

Pengujian makro visual ini dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan benda uji yang telah melalui pengujian sebelumnya. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100x500x. Adapun prosedur pengujian makro visual ini adalah:

1. Menyiapkan benda uji.
2. Meletakkan benda uji di atas holder mikroskop untuk memulai pengamatan. Mengatur perbesaran hingga mendapatkan resolusi gambar yang jelas.



3. Mengambil gambar morfologi permukaan masing-masing benda uji.
4. Membandingkan hasil morfologi semua benda uji.

c. **Pengujian SEM-EDX**

Pengujian SEM-EDX dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan korosi dan retakan serta unsur yang terbentuk di daerah korosi dan retakan.

Adapun tahapan melakukan uji SEM-EDX adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan benda uji yang telah dilakukan uji imersi
2. Benda uji diletakkan pada holder agar pengamatan SEM-EDX sesuai yang diinginkan
3. Melakukan *scanning* pada benda uji sehingga didapatkan morfologi dan unsur yang terdapat pada permukaan benda uji
4. Data tampil pada computer berupa gambar dan grafik yang menyatakan unsur
5. Pengambilan data.

d. **Pengujian XRD**

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui fasa atau senyawa yang terbentuk setelah proses perlakuan panas. Pengujian ini dilakukan untuk mengidentifikasi fasa dalam struktur mikro setelah dilakukan proses perlakuan panas. Adapun parameter dari pengujian XRD yang digunakan adalah sebagai berikut:

Sinar radiasi : Cu-K α

2 θ range : 10 – 90 derajat

Scan speed : 2 derajat/menit



e. Pengujian Metalografi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari material uji yang mengalami kegagalan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik Olympus BX51M-RF di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material FT-ITS.

f. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode Vickers dimana dalam pengujiannya memakai indenter bola baja, pembebanan sebesar 100 kgf dan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini menggunakan Universal Hardness Tester HBRV 187.5A di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS. Sebelumnya, sampel yang digunakan harus memiliki permukaan yang rata untuk menghindari cacat indentasi.

Pengujian ini menggunakan indentasi sebanyak 3 titik dengan ukuran spesimen 13mm x 13mm pada setiap spesimennya. Indentasi dilakukan secara cross sectional dengan beban sebesar 100 kgf.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Data Operasional Lapangan

Turbin gas memiliki salah satu komponen yang sangat penting yaitu *ring segment*, *ring segment* berfungsi sebagai penahan aliran fluida agar mengalir teratur setelah proses pembakaran. Pada *ring segment* terdapat pengunci yaitu *anti rotation*, *anti rotation* berfungsi sebagai penahan agar *ring segment* tidak keluar dan terlepas dari jalurnya. Pada penelitian ini didapatkan data operasional lapangan pada tabel 4.1, tabel 4.2 dan tabel 4.3. Tabel 4.1 menjelaskan data operasional turbin gas, tabel 4.2 menjelaskan komposisi bahan bakar minyak yang digunakan pada turbin gas dan tabel 4.3 menjelaskan komposisi bahan bakar gas yang digunakan.

Tabel 4.1 Data Operasional Turbin Gas

Kecepatan Putaran Turbin (RPM)	3,000.5
Beban Kerja (MW)	71.13
Temperatur Masuk (°C)	30.10
Temperatur Keluar (°C)	380.66
Temperatur Pembuangan (°C)	497.09
Waktu Operasi (Jam)	38,007

Tabel 4.2 Komposisi Bahan Bakar Minyak yang Digunakan

Test	Unit	Metode	Result
Density @ 15°C	Kg/l	ASTM D-1298	0.9531
Viscosity Kinematic at 37.78°C	cSt	ASTM D-445	14334
Pour Point	°C	ASTM D-97	-6.18
Gross Caloric Value	KJ/kg	ASTM D-240	19865.81
Sulfur Content	% wt	ASTM D-129	0.29



Sediment	% wt	ASTM-D 473	0.11
Water content	% vol	ASTM D-95	0.28
Vanadium	Ppm	ASTM D-6376	14
Aluminium + Silicon	ppm	ASTM D-6376	1

Tabel 4.3 Komposisi Bahan Bakar Gas yang Digunakan

Unsur	Simbol	% Mole	Error
Methane	CH ₄	95.55	± 0.3804
Ethane	C ₂ H ₆	2.42	± 0.0125
Propane	C ₃ H ₈	0.90	± 0.0080
n-Butane	N-C ₄ H ₁₀	0.15	± 0.0023
Isobutane	1- C ₄ H ₁₀	0.16	± 0.0017
n-Pentane	n-C ₅ H ₁₂	0.05	± 0.0045
Isopentane	1-C ₅ H ₁₂	0.15	± 0.0982
Hexane Plus	C ₆ H ₁₄ ⁺	0.04	± 0.0054
Nitrogen	N ₂	0.47	± 0.0216
Carbon Dioxide	CO ₂	0.10	± 0.0011
Oxygen	O ₂	0.00	± 0.000

4.1.2 Hasil Pengujian Komposisi Kimia *Anti Rotation*

Pengujian ini dilakukan dikarenakan tidak terdapatnya informasi dari data opsional mengenai komposisi material *anti rotation*. Pengujian komposisi kimia material *anti rotation* menggunakan OES (*Optical Emission Spectroscopy*) dimana didapatkan hasil dengan spesifikasi material *anti rotation* sesuai dengan standar AISI 205 berdasarkan ASTM A276 205. Pada Tabel 4.4 menunjukkan perbandingan komposisi *anti rotation* dan SS205.



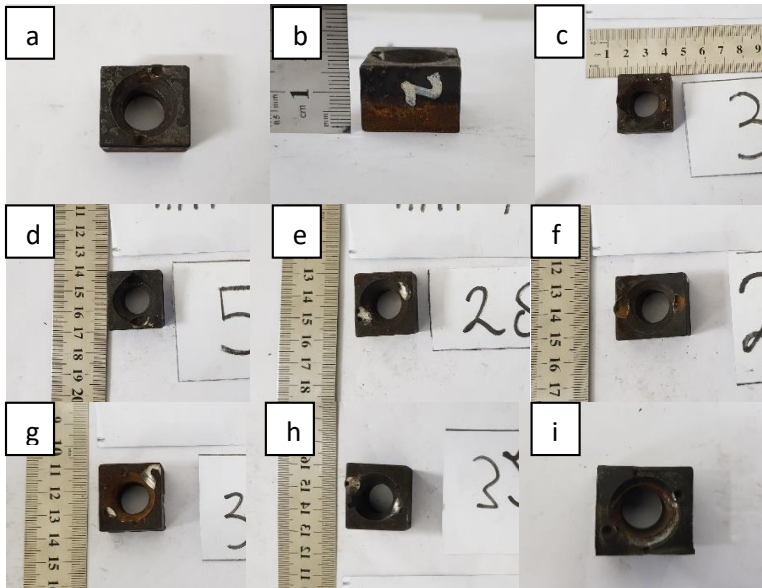
Tabel 4.4 Pencocokan Hasil Uji Material *Anti Rotation* dengan SS205

Unsur (%)	Material <i>Anti Rotation</i>	SS 205
Si	0.376	1.00
Mn	16.4	14.0-15.5
P	0.0089	0.06
S	0.0124	0.03
Ni	0.133	1.00-1.75
Cr	11.4	16.5-18.0
C	0.0419	0.03
Fe	Balance	Balance

Pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa material *anti rotation* memiliki komposisi yang sesuai dengan standart SS205 yaitu austenitic stainless steel.

4.1.3 Hasil Pengamatan Makroskopik

Tampak gambar-gambar di bawah ini menunjukkan kegagalan pada spesimen *anti rotation* pengunci *ring segment* dalam komponen turbin gas.



Gambar 4.1 Kegagalan pada (a) spesimen *anti rotation* kode 1, (b) spesimen *anti rotation* kode 2, (c) spesimen *anti rotation* kode 3, (d) spesimen *anti rotation* kode 5, (e) spesimen *anti rotation* kode 28, (f) spesimen *anti rotation* kode 29, (g) spesimen *anti rotation* kode 30, (h) spesimen *anti rotation* kode 32 dan (i) spesimen *anti rotation* kode 31

Pada gambar 4.1 terlihat jelas bahwa material *anti rotation* ada yang mengalami deformasi. Hal ini dikarenakan material tersebut mengalami pembebanan yang berulang. Pada gambar 4.2 terlihat retakan yang dapat menyebabkan patahan di baut *anti rotation*. Retakan tersebut dimulai dari area awal retak (*initiation crack*) yang kemudian terjadi perambatan retak (*propagation crack*).



Gambar 4.2 Retakan dan *Scaling* pada material *anti rotation* kode 31



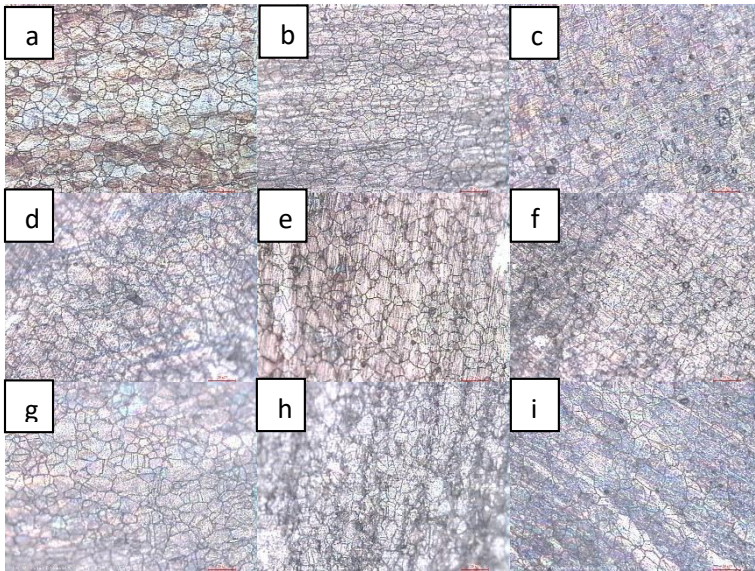
Gambar 4.3 Korosi pada material *anti rotation* kode 31



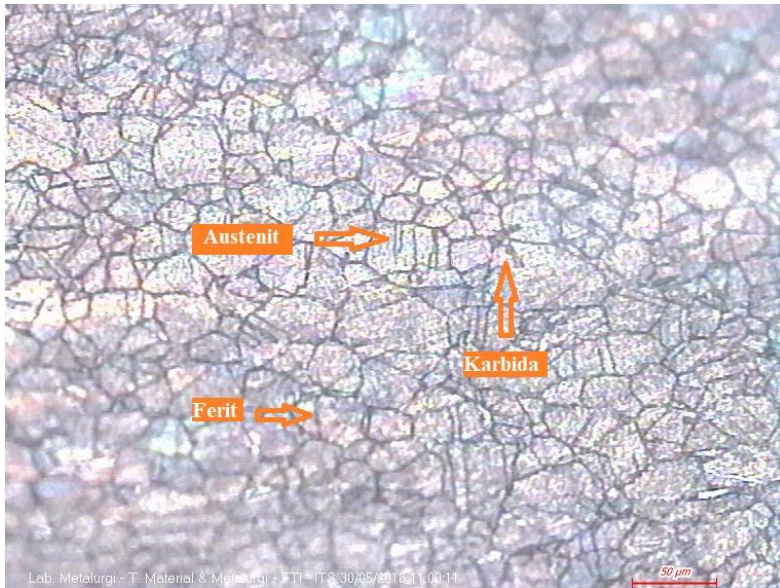
Pada gambar 4.3 material *anti rotation* mengalami korosi yang dapat menyebabkan penurunan fungsi dari material tersebut dan dapat menjadi awal kegagalan yang terjadi.

4.1.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro menggunakan alat mikroskop optik. Pengamatan ini berguna untuk melengkapi karakterisasi dari material *anti rotation*. Pengamatan struktur mikro dilakukan di 9 spesimen yang berbeda yang akan ditampilkan pada gambar-gambar berikut.

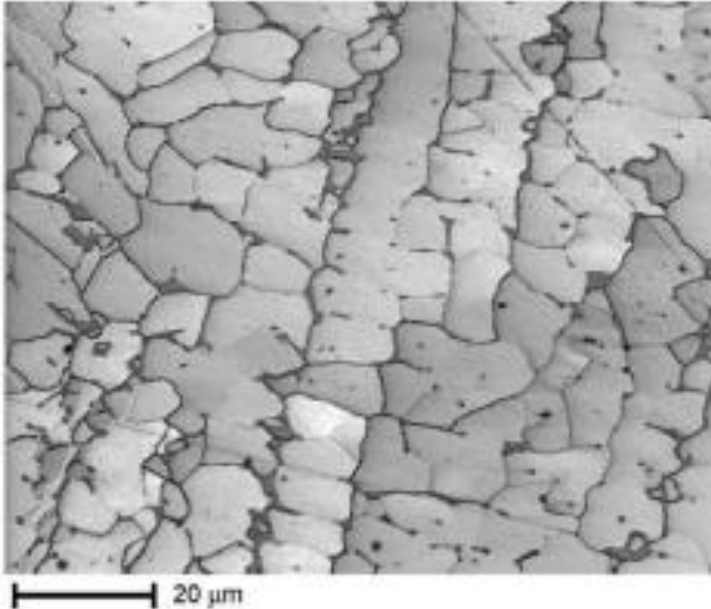


Gambar 4.4 Struktur mikro *anti rotation* (a) kode 1 perbesaran 20x, (b) kode 2 perbesaran 20x, (c) kode 3 perbesaran 20x, (d) kode 5 perbesaran 20x, (e) kode 28 perbesaran 20x, (f) kode 29 perbesaran 20x, (g) kode 30 perbesaran 20x, (h) kode 31 perbesaran 20x, (i) kode 32 perbesaran 20x



Gambar 4.5 Hasil metalografi *anti rotation* SS205

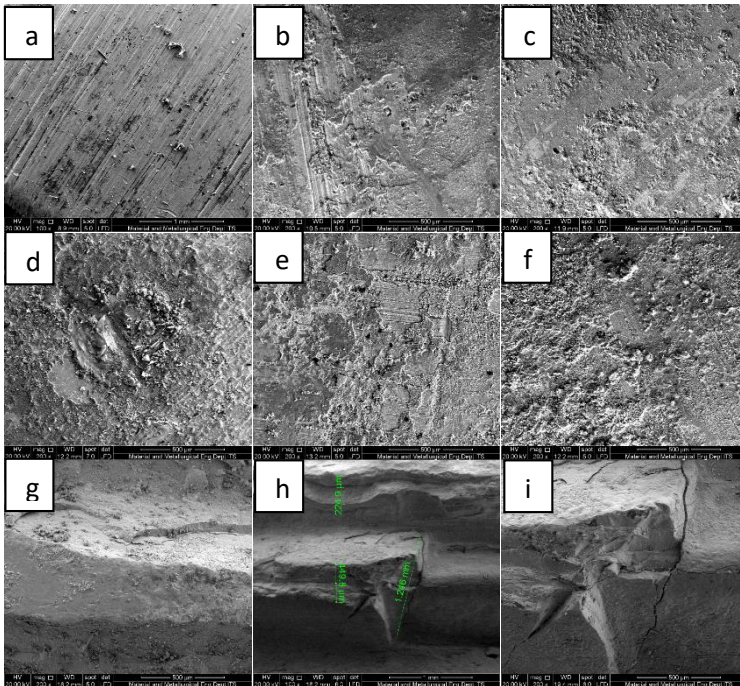
Dari hasil pengamatan, material *anti rotation* termasuk baja tahan karat austenitik. Seri *stainless steel* 200 baja tahan karat adalah grup baja tahan karat austenitik dengan komposisi dalam kisaran: 5–15% Mn, 15–20% Cr, dan 3–6% Ni. Dibandingkan dengan 304 stainless, seri 200 memiliki kandungan Ni yang jauh berkurang, dan ini diimbangi oleh penambahan Mn, dan sering N dan Cu, semua elemen ini menjadi stabilisator austenit. Komposisi kimia baja tahan karat 200 series juga digunakan standart untuk baja tahan karat 304. (Mukunthan, 2013)



Gambar 4.6 Pengamatan Struktur Mikro Stainless Steel 200 series dengan Metode Pengujian SEM (Mukunthan, 2013)

4.1.5 Hasil Pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Pengamatan SEM juga dilakukan untuk mengetahui karakterisasi pada bagian permukaan material *anti rotation* tersebut. Pada gambar-gambar berikut merupakan hasil pengamatan menggunakan SEM.

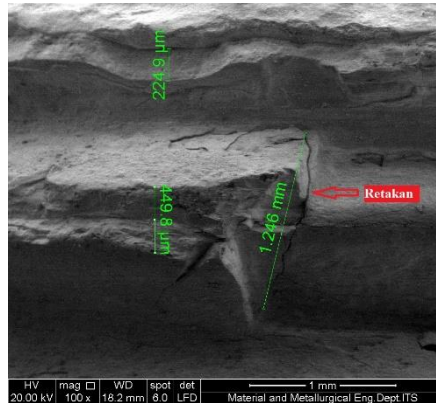


Gambar 4.7 Pengamatan morfologi pada *anti rotation* (a) kode 1 perbesaran 100x (b) kode 2 perbesaran 200x (c) kode 3 perbesaran 200x (d) kode 5 perbesaran 200x (e) kode 28 perbesaran 200x (f) kode 29 perbesaran 200x (g) kode 30 perbesaran 200x (h) kode 31 perbesaran 100x (i) kode 31 perbesaran 200x

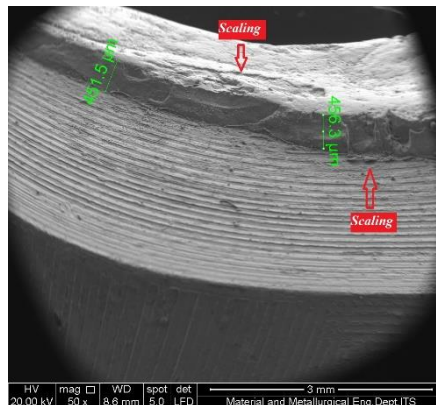
Hasil dari pengamatan ini dapat dilihat bahwa terdapat retakan pada material *anti rotation* yang merupakan awal mula terjadinya kegagalan. Terlihat pada gambar 4.8 terjadi awal mula retakan (*Initiation crack*) yang kemudian terjadilah perambatan retak (*Propagation crack*) yang menjadikan material tersebut



mengalami kegagalan. Pada gambar 4.9 terjadi degradasi material *anti rotation* pada permukaan yaitu terjadinya *scaling* atau pengelupasan yang menjadikan material tersebut mengalami kegagalan.



Gambar 4.8 Morfologi permukaan *anti rotation* yang mengalami retakan.



Gambar 4.9 Morfologi permukaan *anti rotation* yang mengalami *scaling*



4.1.6 Hasil Pengujian Kekerasan Material *Anti Rotation*

Pengujian kekerasan pada material *anti rotation* dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material tersebut dan dilakukan pada 3 titik pada masing-masing nomor yang kemudian dihitung rata-ratanya. Masing-masing nomor memiliki tempat yang berbeda dengan jarak indentasi kurang lebih 5mm hingga 10mm. Pada setiap titik dilakukan indentasi dengan metode Vickers yang kemudian didapatkan hasil distribusi kekerasan pada setiap titik. Hasil pengujian ditampilkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil pengujian hardness material *anti rotation*

Sampel	Titik (VHN)			Rata-rata (VHN)	Rata-rata (BHN)
	1	2	3		
<i>Anti Rotation 1</i>	214	238	232	228	217
<i>Anti Rotation 2</i>	226	228	236	230	219
<i>Anti Rotation 3</i>	232	223	234	230	219
<i>Anti Rotation 5</i>	233	229	225	229	218
<i>Anti Rotation 28</i>	238	239	238	238	226
<i>Anti Rotation 29</i>	230	254	249	244	232
<i>Anti Rotation 30</i>	241	242	247	243	231
<i>Anti Rotation 31</i>	248	241	244	244	232
<i>Anti Rotation 32</i>	243	242	242	242	230



Gambar 4.10 Nilai kekerasan material *anti rotation*

4.1.7 Hasil Pengujian EDX Material *Anti Rotation*

Pengujian EDX dilakukan untuk mengetahui unsur-unsur yang terdapat dalam permukaan *anti rotation*. Sehingga dapat diketahui unsur apa saja yang berpotensi menyebabkan kegagalan pada material *anti rotation*.



Tabel 4.6 Hasil pengujian EDX *anti rotation* kode 1

Element	Wt%	At%
CK	04.48	15.47
OK	06.41	16.60
SiK	01.30	01.91
CrK	12.65	10.08
MnK	12.96	09.77
FeK	62.20	46.16
Matrix	Correction	ZAF

Tabel 4.7 Hasil pengujian EDX *anti rotation* kode 2

Element	Wt%	At%
CK	05.54	15.73
OK	16.34	34.83
SiK	01.43	01.74
CrK	15.56	10.21
MnK	17.93	11.13
FeK	43.19	26.37
Matrix	Correction	ZAF



Tabel 4.8 Hasil pengujian EDX *anti rotation* kode 3

Element	Wt%	At%
CK	05.84	15.48
OK	20.40	40.56
SiK	01.61	01.83
CaK	01.42	01.13
CrK	12.99	07.95
MnK	18.81	10.89
FeK	38.92	22.17
Matrix	Correction	ZAF

Tabel 4.9 Hasil pengujian EDX *anti rotation* kode 5

Element	Wt%	At%
CK	04.65	12.98
OK	19.05	39.91
SiK	01.33	01.59
CrK	06.55	04.22
MnK	28.94	17.66
FeK	37.89	22.74
CoK	01.58	00.90
Matrix	Correction	ZAF



Tabel 4.10 Hasil pengujian EDX *anti rotation* kode 28

Element	Wt%	At%
CK	04.80	13.66
OK	17.99	38.41
CrK	10.14	06.66
MnK	23.29	14.48
FeK	43.78	26.78
Matrix	Correction	ZAF

Tabel 4.11 Hasil pengujian EDX *anti rotation* kode 29

Element	Wt%	At%
CK	03.51	09.68
OK	22.01	45.61
CrK	07.57	04.83
MnK	21.96	13.25
FeK	43.00	25.53
CoK	01.96	01.10
Matrix	Correction	ZAF



Tabel 4.12 Hasil pengujian EDX *anti rotation* kode 30

Element	Wt%	At%
CK	09.16	21.97
OK	22.72	40.89
ZnL	03.11	01.37
AlK	01.39	01.49
SiK	01.84	01.89
MoL	00.80	00.24
ClK	00.41	00.34
CaK	01.13	00.81
CrK	03.39	01.88
MnK	32.09	16.82
FeK	22.87	11.79
CoK	01.08	00.53
Matrix	Correction	ZAF



Tabel 4.13 Hasil pengujian EDX *anti rotation* kode 31

Element	Wt%	At%
OK	23.73	51.98
CrK	02.52	01.70
MnK	04.29	02.74
FeK	69.45	43.58
Matrix	Correction	ZAF

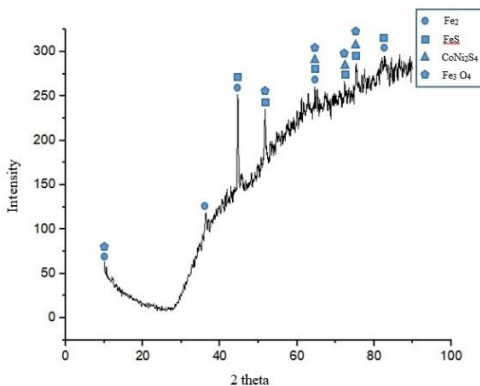
Tabel 4.14 Hasil pengujian EDX *anti rotation* kode 32

Element	Wt%	At%
CK	05.10	13.35
OK	22.10	43.43
ZnL	04.15	01.99
AlK	01.41	01.64
SiK	01.91	02.14
SK	00.87	00.85
CrK	02.71	01.64
MnK	20.83	11.92
FeK	40.92	23.03
Matrix	Correction	ZAF



4.1.8 Hasil Pengujian XRD Material *Anti Rotation*

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kandungan dari jenis-jenis deposit yang terdapat pada permukaan material *anti rotation* kode 32.



Gambar 4.11 Grafik hasil pengujian XRD *anti rotation*

Tabel 4.6 Hasil *matching* dengan aplikasi HighScore Plus

Senyawa	Ref. Number	Score
Fe ₂	96-900-6855	30
FeS	01-089-6271	13
CoNi ₂ O ₄	01-070-2848	6
Fe ₃ O ₄	96-153-2797	5

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil uji komposisi kimia yang dilakukan menggunakan OES, komposisi kimia dari material *anti rotation* mirip dengan komposisi kimia dari AISI 205 yang telah ditunjukkan pada tabel 4.3. *Anti rotation* termasuk dalam



austenitic stainless steel. Material tersebut banyak digunakan dalam komponen turbin gas. Material yang digunakan pada pengunci *ring segment* yaitu *anti rotation* sudah sesuai dengan ASTM A276 Grade 205 tentang penggunaan material dalam turbin gas. Kegagalan yang terjadi bukan karena kesalahan pemilihan material namun bisa terjadi karena kondisi operasi yang berlebihan, kesalahan produksi, pemeriksaan yang kurang baik, kesalahan dalam pemasangan material maupun penggunaan alat dan bahan pendukung yang tidak sesuai standart. (Brooks, 2002).

Anti rotation menerima pembebanan secara terus menerus untuk tetap menahan *ring segment* tetap pada posisi yang seharusnya. Pada *ring segment* pun juga menerima pembebanan secara terus menerus karena dari cara kerjanya yaitu menahan beban fluida yang mengalir secara terus-menerus dari hasil pembakaran sebelumnya untuk menjaga aliran fluida tetap stabil. Selain itu *anti rotation* juga menerima beban yang didapatkan dari gesekan antara *blade* turbin dengan *ring segment* dengan putaran mencapai 3000rpm. Material *anti rotation* memiliki dimensi dengan panjang 27mm, lebar 25mm dan tinggi 17mm. Sedangkan *bolt anti rotation* memiliki dimensi panjang 30mm dengan diameter 11mm. Material *anti rotation* harus menahan beban *ring segment* dengan dimensi panjang 130mm, lebar 120mm dan tebal 40mm. Pada susunan dalam turbin gas, material *ring segment* disusun sebanyak 60 buah sehingga jumlah susunan material *anti rotation* juga berjumlah 60 buah.

Pada pengamatan makrostruktur gambar 4.2 terlihat bahwa material baut *anti rotation* yang mengalami perubahan bentuk semula atau terdeformasi. Hal ini dapat dikarenakan material tersebut mengalami pembebanan secara terus-menerus dari material *ring segment*. Pada gambar 4.2 terlihat degradasi material yaitu mengelupasnya lapisan permukaan material atau



disebut dengan *scaling*. Selain itu retakan yang terjadi dapat menyebabkan patahan di baut *anti rotation*. Retakan tersebut dimulai dari area awal retak (*initiation crack*) yang kemudian terjadi perambatan retak (*propagation crack*). Garis striasi yang muncul dapat diakibatkan karena terjadinya pembebanan yang berulang yaitu material *anti rotation* yang menahan material *ring segment*. Pada gambar 4.2, awal retakan terjadi di daerah ulir baut yang mengalami *scaling* hingga terkelupas habis sehingga retakan dapat terlihat dengan cukup jelas. Pada gambar 4.3 terlihat material *anti rotation* mengalami degradasi material yaitu korosi yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan material.

Dari hasil pengamatan, material *anti rotation* termasuk baja tahan karat austenitik. Pada gambar hasil pengujian terlihat bahwa ukuran butir berkisar pada ukuran 10 μ m hingga 20 μ m. Koloni dendrit yang terbentuk biasanya relatif besar, yaitu 50 hingga 200 μ m lebarnya dan 200 hingga 800 μ m panjang. Pengukuran orientasi kristalografi pada gambar 4.5 menunjukkan struktur butir sebagai gips tidak biasanya baik dengan lebar butir dalam kisaran 10-20 μ m. Sehingga pada hasil pengujian mikrostruktur *anti rotation* terlihat bahwa terjadi penyusutan struktur butir, hal ini dikarenakan bertumbuhnya koloni dendrit. (Mukunthan, 2013)

Seri *stainless steel* 200 baja tahan karat adalah grup baja tahan karat austenitik dengan komposisi dalam kisaran: 5–15% Mn, 15–20% Cr, dan 3–6% Ni. Dibandingkan dengan 304 stainless, seri 200 memiliki kandungan Ni yang jauh berkurang, dan ini diimbangi oleh penambahan Mn, dan sering N dan Cu, semua elemen ini menjadi stabilisator austenit. Komposisi kimia baja tahan karat 200 series juga digunakan standart untuk baja tahan karat 304.



Pada pengamatan mikrostruktur terlihat fasa yang terbentuk adalah austenitik terlihat secara signifikan dari struktur dendritik yang terlihat menggunakan mikroskop elektron. Meskipun struktur dendritik asli masih dapat terlihat, jelas bahwa struktur mikro jauh lebih jelas daripada yang jelas dari mikroskop optik. Pembesaran yang lebih tinggi menunjukkan bahwa butiran sangat halus, lebar butir sering dalam kisaran 10-20 μm (yang sebanding dengan jarak lengan dendrit primer) dan memanjang ke arah pertumbuhan dendrit. (Mukunthan, 2013)

Pada hasil pengujian SEM yang didapatkan seperti pada gambar 4.8 terlihat material *anti rotation* mengalami *scaling* yang cukup besar dan membentuk seperti kawah. Hal tersebut dapat dikarenakan goresan dengan adanya beban yang terjadi antara material *anti rotation* dengan material *ring segment*. Selain itu pada gambar 4.8 juga terjadi degradasi material secara *scaling* atau pengelupasan material yang membentuk garis-garis jelas yang dapat dikarenakan goresan berulang-ulang. Pada gambar 4.7 terlihat bahwa pada permukaan material *anti rotation* juga terdapat deposit yang menempel di permukaan. Hal ini dapat dikarenakan tidak rata permukaan material dan beban lingkungan maupun beban fluida yang menyebabkan beberapa bagian permukaan yang terkelupas dan kehilangan dimensi material (penipisan). Pada gambar 4.8 terlihat material terjadi pengelupasan atau *scaling* yang terlihat jelas hingga material membentuk seperti dinding. Pada gambar 4.8 terlihat adanya retakan yang terjadi. Pada gambar tersebut terjadi awal retakan (*initiation crack*) yang menjalar sehingga terdapat perambatan retak (*propagation crack*). Pembebanan berulang dan terus menerus yang dialami oleh komponen akan menyebabkan retak yang terbentuk akan mudah menjalar hingga akhirnya mencapai dimensi yang cukup signifikan untuk menyebabkan komponen patah (Sutowo, 2014).



Pada pengujian XRD, material *anti rotation* didapatkan beberapa deposit-deposit antara lain yaitu Fe_2 , FeS , CoNi_2O_4 dan Fe_3O_4 . Pada pengujian XRD ini menggunakan aplikasi HighScore Plus untuk mendapatkan data dari deposit-deposit tersebut. Dari penggunaan aplikasi HighScore Plus didapatkan hasil yang *match* dengan *reference number* 96-900-6855 yaitu Fe_2 dengan nilai (*score*) 30, kemudian hasil yang *match* adalah *reference number* 01-089-6271 yaitu FeS dengan nilai 13, kemudian hasil yang *match* adalah *reference number* 01-070-2848 yaitu CoNi_2O_4 dengan nilai 6, kemudian hasil yang *match* adalah *reference number* 96-153-2797 yaitu Fe_3O_4 . Pada hasil pengujian juga didapatkan kandungan di beberapa titik puncak seperti pada gambar 4.11.

Pada pengujian EDX terlihat bahwa unsur pada material *anti rotation* yang dominan adalah unsur Fe dan O. Hal ini dibuktikan dengan persentase berat Fe dan O yang tinggi pada setiap kode *anti rotation* di hasil pengujian. *Anti rotation* kode 1 dengan berat Fe 62,20% dan O 6,41% , kemudian *anti rotation* kode 2 dengan berat Fe 43,19% dan O 16,34% , kemudian *anti rotation* kode 3 dengan berat Fe 38,92% dan O 20,40% , kemudian *anti rotation* kode 5 dengan berat Fe 37,89% dan O 19,05% , kemudian *anti rotation* kode 28 dengan berat Fe 43,78% dan O 17,99% , kemudian *anti rotation* kode 29 dengan berat Fe 43,00% dan O 22,01% , kemudian *anti rotation* kode 30 dengan berat Fe 22,87% dan O 22,72% , kemudian *anti rotation* kode 31 dengan berat Fe 69,45% dan O 23,73% , kemudian *anti rotation* kode 32 dengan berat Fe 40,92% dan O 22,10%.

Lapisan oksida terbentuk selama proses oksidasi, daerah yang terkena udara dan oksigen berlebih akan berdifusi dengan Fe. Maka reaksinya, $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$ yang merupakan produk akhir. Pada temperatur antara 100 °C hingga 220 °C, Fe akan teroksidasi menjadi FeO. (Song, 2011) Sementara magnetit



murni akan mulai teroksidasi di bawah 220°C dan partikel yang lebih besar teroksidasi menjadi komposisi antara Fe_3O_4 dan Fe_2O_3 . Pada tahap terakhir reaksi, Fe_3O_4 yang ada teroksidasi secara langsung menjadi Fe_2O_3 pada kisaran temperatur 220°C. Meskipun Fe_2O_3 kurang stabil pada kisaran temperatur 220°C namun akan mulai stabil hingga temperatur 250 °C. (Gallagher, 1968)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Berdasarkan penelitian, factor-faktor penyebab terjadinya kegagalan adalah terjadinya beban kejut pada *ring segment* yang disalurkan ke *anti rotation* yang telah menerima beban, korosi sehingga terjadinya kegagalan material berupa retakan korosi-korosi yang terjadi, antara lain korosi sulfidasi dan korosi oksidasi, adanya penipisan permukaan material (*scaling*) yang terjadi karena goresan baik secara mekanik, serta beban fluida yang mengakibatkan erosi dan menyebabkan penipisan material.
2. Mekanisme terjadinya kegagalan pada penelitian kali ini adalah material yang terkorosi dan menimbulkan deposit pada material yang kemudian menyebabkan terjadinya penipisan material (*scaling*) dan terbentuknya takik dimana selanjutnya terkena beban kejut dan terjadilah kegagalan material berupa retakan maupun patahan.
3. Penanggulangan yang perlu dilakukan agar tidak terjadi kegagalan *anti rotation* adalah dengan adanya pengecekan rutin dan *maintenance* secara berkala agar dapat meminimalisir terjadinya kegagalan dalam turbin gas.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah :

1. Pemotongan material sebaiknya menggunakan *wirecut* agar tidak terjadi perubahan fasa lanjutan.
2. Penggunaan aplikasi pengolah data hasil pengujian sebaiknya lebih baik dan terbaru.
3. Pemilihan etsa yang lebih tepat.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, N., 2016. *Perilaku Korosi Baja AISI 1021 dan AISI 304 di Berbagai Lingkungan Asam*. Surabaya: ITS Surabaya.
- Arismunandar, Wiranto. 1988. *Penggerak Mula Turbin*. Bandung:ITB
- ASM International, 2009. *Metals Handbook, Vol.1 - Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*. ASM International 10th Ed.
- Avner, Sidney H. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Callister, W. D. & Rethwisch, D. G., 2014. *Material Science and Engineering*. 9th ed. Danver: John Wiley & Sons Inc.
- Candraditya, B. 2009. *Analisa Kegagalan Pada Material Mixing Chamber Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Gas di PLN Muara Tawar*. Universitas Indonesia.
- Fontana, M.G. and N. D. Greene. 1978. *Corrosion Engineering*. McGraw-Hill, New York.
- Gadang, P., 2008. *Korosi Retak Tegang Material Stainless Steel AISI 304 di Lingkungan $MgCl_2$* . Depok: Researchgate.
- Gallagher, K.J., 1968, *Mechanism of Oxidation Magnetite to Fe_2O_3* . University College of Swansea.
- Kotecki, D.J., 1999. *A Martensite Boundary in the WRC- 1992 Diagram*. Welding Journal.
- McGuire, M., 2008. *Stainless Steels for Design Engineers*. 1st ed. Ohio: ASM International.
- Mukunthan, K., 2013. *Solidification Behaviour and Microstructural Development of Iron-based Alloys Under*

Conditions Pertinent to Strip Casting - 200 Series Stainless Steels. ISIJ International.

Nishida, Shin-ichi. 1992. *Failure Analysis in Engineering Application.* Jordan Hill. Oxford. Butterworth-Heinemann Ltd.

Parvathavarthini, N., 2002. Sensitization and Testing for Intergranular Corrosion. In: H. Khatak & B. Raj, eds. *Corrosion of Austenitic Stainless Steels.* Cambridge: Woodhead Publishing Limited, pp. 117-138.

R. Brook, Charlie and Choudhury, Ashok. 2002. *Failure Analysis of Engineering Materials.* New York: McGraw-Hill.

Saefudin, 2008. Pengaruh Suhu Pemanasan Terhadap Sensitasi pada Baja Stainless Steel 304. *Metalurgi*, 23(2).

Samantaray, D., 2013. *Microstructural Evolution and Mechanical Properties of Type 304L Stainless Steel Processed in Semi Solid State*

Song, Eun-ju, 2011. *High Temperature Oxidation of Si-Containing Steel.* Pohang University of Science and Technology.

Suherman, W., 1999. *Ilmu Logam 2.* Surabaya: ITS Press.

Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik.* Pradnya Paramita. Jakarta.

Sutowo, Cahya dkk. 2014. *Analisa Kegagalan pada Poros Baja Karbon S45C Aplikasi Komponen As Sink Roll.* Tangerang: Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI

Yakub, Y. & Nofri, M., 2013. Variasi Arus Listrik terhadap Sifat Mekanik Mikro Sambungan Las Baja Tahan Karat Aisi 304. *E-Journal Widya Eksakta*, I(1), pp. 7-11.

LAMPIRAN

Gambar *Anti Rotation* kode 1



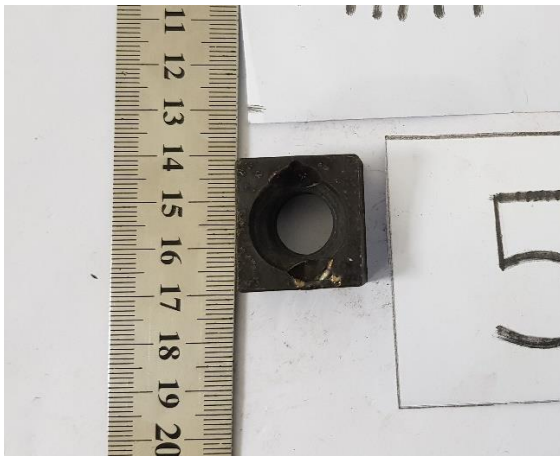
Gambar *Anti Rotation* kode 2



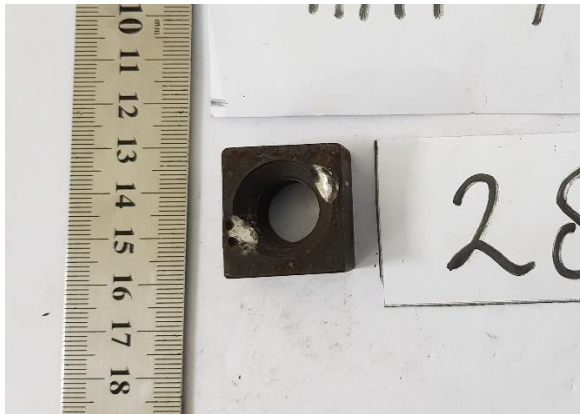
Gambar *Anti Rotation* kode 3



Gambar *Anti Rotation* kode 5



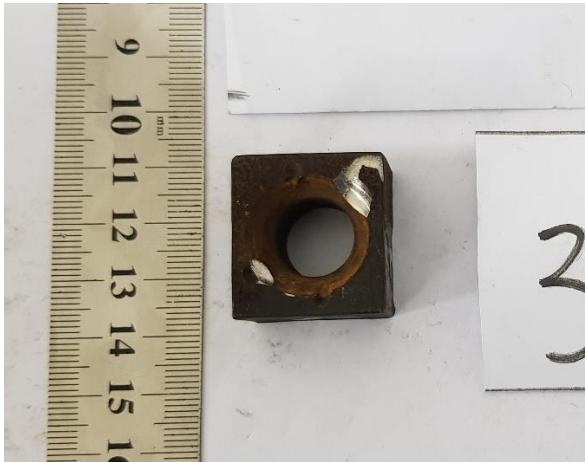
Gambar *Anti Rotation* kode 28



Gambar *Anti Rotation* kode 29



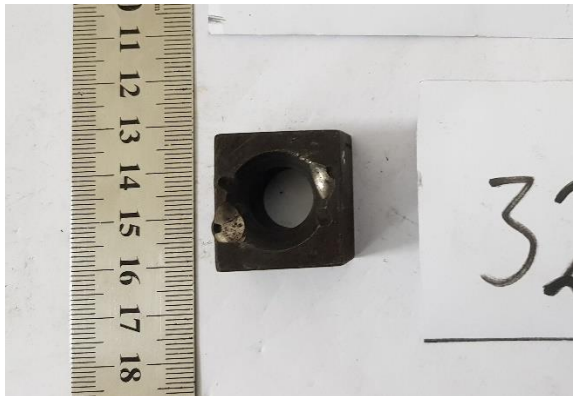
Gambar *Anti Rotation* kode 30



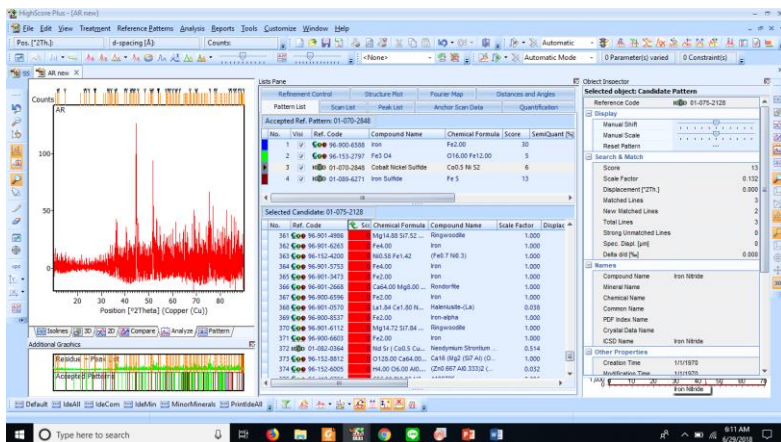
Gambar *Anti Rotation* kode 31



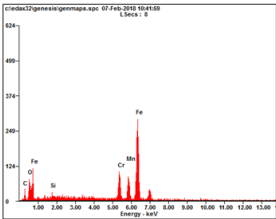
Gambar Anti Rotation kode 32



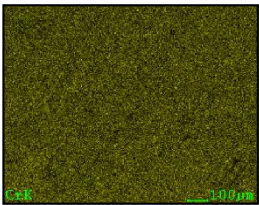
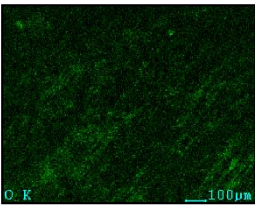
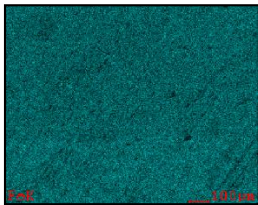
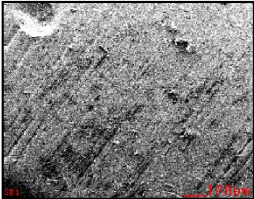
Gambar Analisis Deposit dengan Aplikasi Highscore Plus



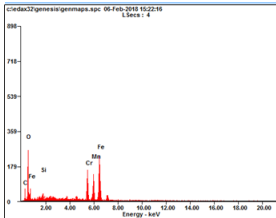
Gambar Hasil Pengujian EDX *Anti Rotation* kode 1



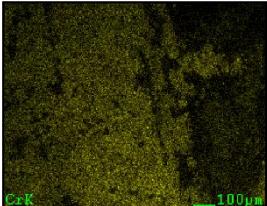
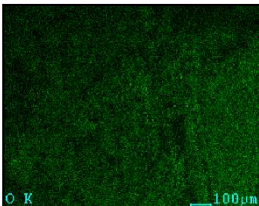
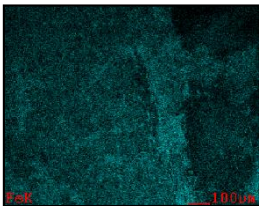
Element	Wt%	At%
CK	04.48	15.47
OK	06.41	16.60
SiK	01.30	01.91
CrK	12.65	10.08
MnK	12.96	09.77
FeK	62.20	46.16
Matrix	Correction	ZAF



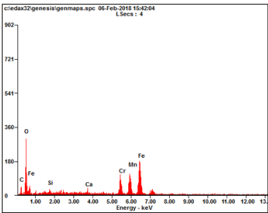
Gambar Hasil Pengujian EDX *Anti Rotation* kode 2



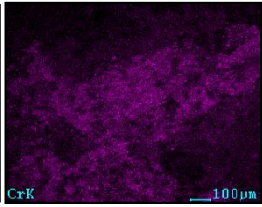
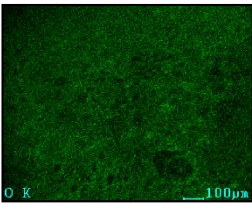
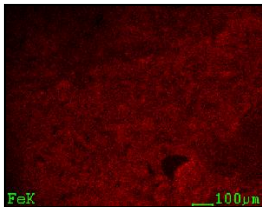
Element	Wt%	At%
CK	05.54	15.73
OK	16.34	34.83
SiK	01.43	01.74
CrK	15.56	10.21
MnK	17.93	11.13
FeK	43.19	26.37
Matrix	Correction	ZAF



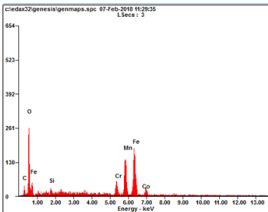
Gambar Hasil Pengujian EDX *Anti Rotation* kode 3



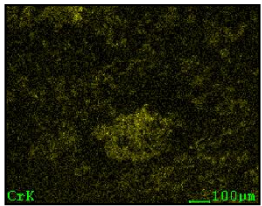
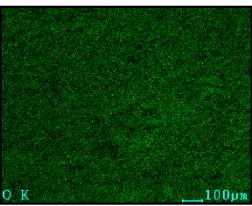
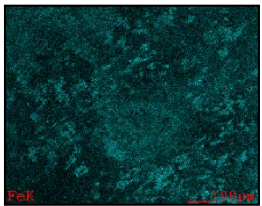
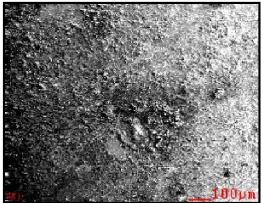
Element	Wt%	At%
CaK	03.84	15.48
OK	20.40	40.56
SiK	01.61	01.83
CoK	01.42	01.13
CrK	12.99	07.95
MnK	18.81	10.89
FeK	38.92	22.17
Matrix	Correction	ZAF



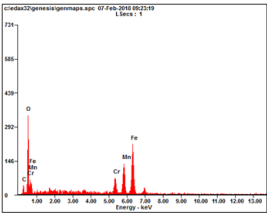
Gambar Hasil Pengujian EDX *Anti Rotation* kode 5



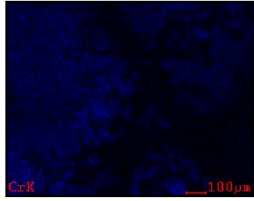
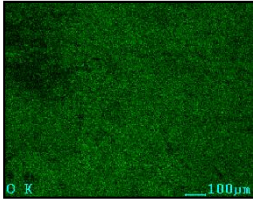
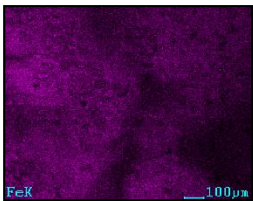
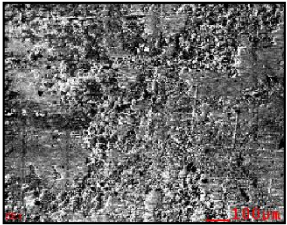
Element	Wt%	At%
CK	04.65	12.98
OK	19.05	39.91
SiK	01.33	01.59
CrK	06.55	04.22
MnK	28.94	17.66
FeK	37.89	22.74
CoK	01.58	00.90
Matrix	Correction	ZAF



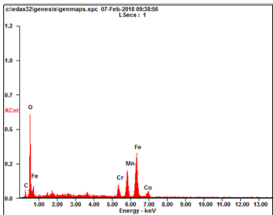
Gambar Hasil Pengujian EDX *Anti Rotation* kode 28



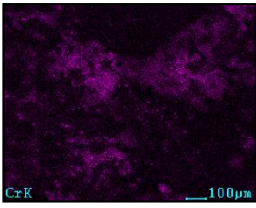
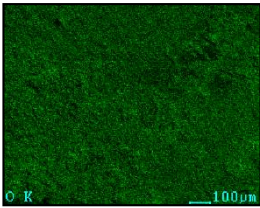
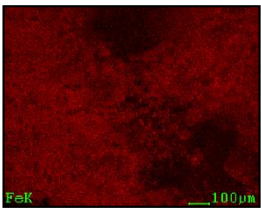
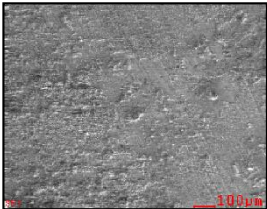
Element	Wt%	At%
CK	04.80	13.66
OK	17.99	38.41
CrK	10.14	06.66
MnK	23.29	14.48
FeK	43.78	26.78
Matrix	Correction	ZAF



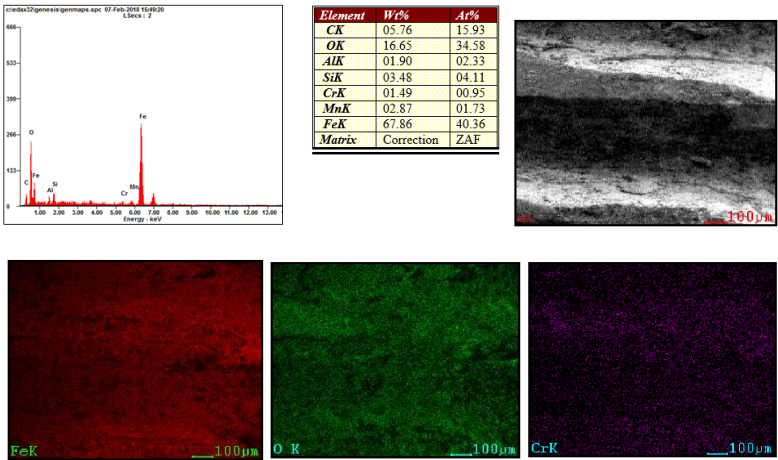
Gambar Hasil Pengujian EDX *Anti Rotation* kode 29



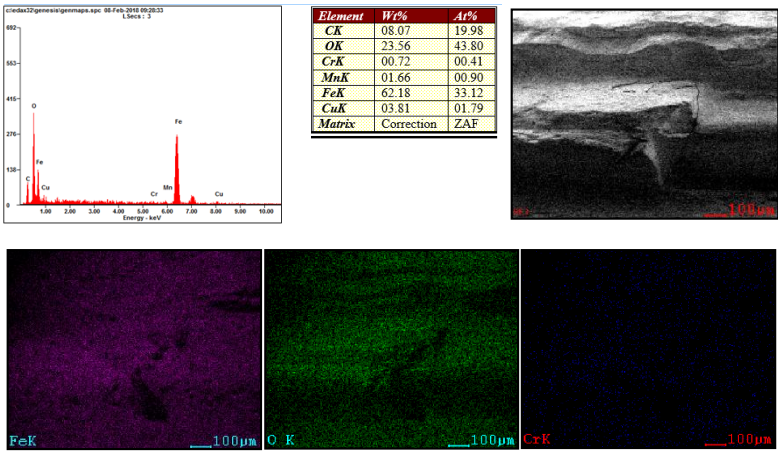
Element	Wt%	At%
CK	03.51	09.68
OK	22.01	45.61
CrK	07.57	04.83
MnK	21.96	13.25
FeK	43.00	25.53
CoK	01.96	01.10
Matrix	Correction	ZAF



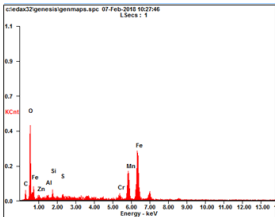
Gambar Hasil Pengujian EDX *Anti Rotation* kode 30



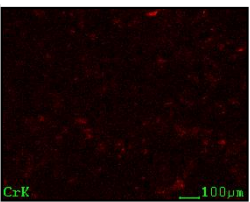
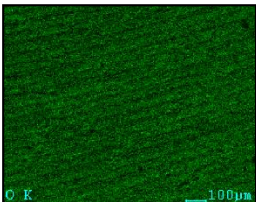
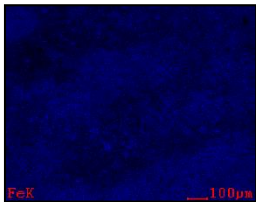
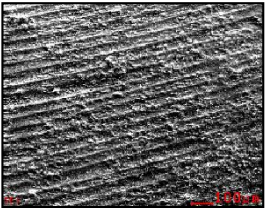
Gambar Hasil Pengujian EDX *Anti Rotation* kode 31



Gambar Hasil Pengujian *Anti Rotation* kode 32



Element	Wt%	Ar%
CK	05.10	13.35
OK	22.10	43.43
ZnL	04.15	01.99
AlK	01.41	01.64
SiK	01.91	02.14
SK	00.87	00.85
CrK	02.71	01.64
MnK	20.83	11.92
FeK	40.92	23.03
Matrix	Correction	ZAF



BIODATA PENULIS



Azmi Putra Gasade, lahir di Madiun pada tanggal 31 Desember 1995. Penulis menempuh pendidikan dasar di MI Islamiyah 01 Kota Madiun. Kemudian dilanjutkan ke SMP Negeri 1 Kota Madiun. Kemudian melanjutkan di SMA Negeri 2 Kota Madiun. Lalu penulis melanjutkan pendidikannya ke perguruan tinggi negeri di Institut Teknologi Sepuluh Nopember yaitu di Departemen Teknik Material dan Metalurgi,

Fakultas Teknologi Industri. Selama menempuh masa perkuliahan penulis juga tercatat aktif mengikuti organisasi di departemen. Penulis tercatat sebagai Staff Ahli di Badan Semi Otonom Minat Bakat Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi periode 2016/2017. Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang pada bulan juli tahun 2017. Topik kerja praktek dengan judul “Pengelasan Pipa A53 Grade B *Seamless* Menggunakan Metode GTAW dengan Filler ER 70S – G”. Tugas akhir yang disusun penulis yaitu dalam bidang Korosi dan Analisa Kegagalan dengan judul “Analisis Kegagalan *Anti Rotation Piece SS205 Pengunci Ring Segment Cobalt Base Superalloys DZ40M* dalam Komponen Turbin Gas”.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)